

BÆREKRAFTIG OG SAMFUNNSNYTTIG LUFTFART

Teknologiveikart for bærekraftige drivstoff til luftfart

Avinor AS

Rapport.: 2021-0366, Rev. 1

Dato: 6. august 2021



Prosjektnavn:	Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart	DNV Energy Systems
Rapporttittel:	Teknologiveikart for bærekraftige drivstoff til luftfart	Nord-Europa
Oppdragsgiver:	Avinor AS, Eufemias gate 6A, 0191 Oslo, Norge	Veritasveien 1, 1322 Høvik, Norge
Kontaktperson:	Arvid Løken	Tel: +47 6757 9900
Dato:	6. august 2021	Org. nr.:945 748 931
Prosjektnr.:	10282689	
Org. enhet:	Energimarkeder og Teknologi (EMT)	
Rapportnr.:	2021-0366, Rev. 1	

Levering av denne rapporten er underlagt bestemmelsene i relevant(e) kontrakt(er):

Oppdragsbeskrivelse:

Avinor har sammen med sentrale aktører i norsk luftfart (LO, NHO Luftfart, Norwegian, SAS og Widerøe) i løpet av våren 2021 utarbeidet et forslag til program for produksjon og økende innfasing av bærekraftige flydrivstoff. Bærekraftige flydrivstoff innebærer avanserte biodrivstoff og e-fuels (elektrofuels). Avinor har i denne forbindelse anskaffet et teknologiveikart som vil bli en del av sluttrapporten og programmet. Dette omhandler en beskrivelse av både status og forventet utvikling på følgende aspekter: 1) Godkjente teknologier og verdikjeder (certified pathways), 2) Produksjon og produksjonsfasiliteter i Norge og internasjonalt, 3) Tilgang på, potensiale og begrensninger i biomasse og andre innsatsfaktorer, 4) Bærekraft og klimaeffekt for ulike typer drivstoff, og 5) Kostnader for bærekraftig drivstoff.

Utført av:	Verifisert av:	Godkjent av:
------------	----------------	--------------

Magnus Killingland
Principal Consultant

Tore B. Eliassen
Avdelingsleder

Tore B. Eliassen
Avdelingsleder

Ingrid Bye Løken
Konsulent

Daniel Brenden
Konsulent

Edwin Aalders
Senior Principal Consultant

Beskyttet etter lov om opphavsrett til åndsverk m.v. (åndsverkloven) © DNV 2021. Alle rettigheter forbeholdes DNV. Med mindre annet er skriftlig avtalt, gjelder følgende: (i) Det er ikke tillatt å kopiere, gjengi eller videreformidle hele eller deler av dokumentet på noen måte, hverken digitalt, elektronisk eller på annet vis; (ii) Innholdet av dokumentet er fortrolig og skal holdes konfidensielt av kunden; (iii) Dokumentet er ikke ment som en garanti overfor tredjeparter, og disse kan ikke bygge en rett basert på dokumentets innhold; og (iv) DNV påtar seg ingen aktsomhetsplikt overfor tredjeparter. Det er ikke tillatt å referere fra dokumentet på en slik måte at det kan føre til feiltolkning.

DNV GL distribusjon:

- ☒ ÅPEN. Fri distribusjon, internt og eksternt.
- ☐ INTERN. Fri distribusjon internt i DNV.
- ☐ KONFIDENSIELL. Distribusjon som angitt i distribusjonsliste. *
- ☐ HEMMELIG. Kun autorisert tilgang.

*Distribusjonsliste: Avinor og arbeidsgruppe inntil 1. september 2021

Nøkkelord:

Bærekraftig biodrivstoff, luftfart, sustainable aviation fuel (bærekraftig flydrivstoff), eFuel, elektrofuel, power-to-liquid, hydrogen, klimaeffekt, kostnader, biomasse

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
0	14. mai 2021	Første utgave	MNK, IBL, EAL	DBR	TBE
1	4. august 2021	Endelig utgave	MNK, IBL, EAL	DBR	TBE

Innholdsfortegnelse

Teknologiveikart for bærekraftige drivstoff til luftfart

1	SAMMENDRAG	1
1.1	Executive summary	3
2	INTRODUKSJON	6
2.1	Innhold i hvert kapittel – leseguide	6
2.2	Bakgrunn for rapporten	7
3	TEKNOLOGIER OG VERDIKJEDER FOR BÆREKRAFTIGE DRIVSTOFF	8
3.1	Introduksjon	8
3.2	Bærekraftig flydrivstoff og klimaeffekt	8
3.3	Produksjonsruter - overordnet	11
3.4	Biodrivstoff for luftfart – godkjente og kommende alternativer	12
3.5	efuels / elektrofuels (power-to-liquids)	14
3.6	Modenhet og utvikling for kostnadsreduksjoner og oppskalering	16
3.7	Klimaeffekt for bærekraftige flydrivstoff	18
3.8	Kostnader for bærekraftige flydrivstoff	22
3.9	100% innblanding, vs. maks 50% og 10% i dag, og endrete krav	28
3.10	Co-prosessering i eksisterende fossile raffinerier	29
4	ETTERSPØRSEL OG PRODUKSJON AV BÆREKRAFTIG FLYDRIVSTOFF	34
4.1	Etterspørsel, innblandingskrav og forpliktet avtak	34
4.2	Initiativer, prosjekter, anlegg og produksjonsvolum	44
5	RAMMEVERK FOR BÆREKRAFT OG KLIMAEFFEKT	59
5.1	Bærekraft for flydrivstoff	59
5.2	Klimaeffekt og GHG-rammeverk (LCA-metode)	63
6	TILGANG, POTENSIALE OG BEGRENSNINGER FOR BIOMASSE OG ANDRE INNSATSFAKTORER	65
6.1	Landbasert biomasse	65
6.2	Marin biomasse for biodrivstoff	71
6.3	Hydrogen: grønt og lavkarbon	73
6.4	Karbondioksid for efuels	75
7	OPPSUMMERING OG KONKLUSJON.....	76
8	REFERANSER.....	79
9	VEDLEGG - DETALJER OM GODKJENTE VERDIKJEDER OG TEKNOLOGIER	80
9.1	Gassifisering med Fischer-Tropsch (FT)	80
9.2	Foredling av biooljer, estere og fettsyrer (HEFA)	81
9.3	Fermentert sukker - Syntetiserte isoparafiner (SIP)	82
9.4	Alkohol til jet (AtJ)	82
9.5	Hydro-termisk prosessering (Hydrothermolysis)	83
9.6	Kvalifisering av nye drivstoff (D4054 Qualification Process)	84
9.7	Produksjon av flydrivstoff i konvensjonelle raffinerier	85

1 SAMMENDRAG

Bærekraftig flydrivstoff¹ vil måtte ha en avgjørende rolle for å nå mål om fossilfri luftfart og store utslippskutt innen 2030 og 2050, spesielt for langdistanse-flyvninger². Dette drivstoffet kan produseres fra ulike biomasse via syv godkjente produksjons-prosesser med 10-50% innblanding i dagens infrastruktur for fossile drivstoff. Flere prosesser er under utvikling for å bli godkjent, som kan muliggjøre flere typer råvarer og biomasse. Det arbeides også med å godkjenne en innblanding på 100%.

En utvidelse av begrepet bærekraftig flydrivstoff for luftfart innebærer også efuels (elektrofuels), og co-prosessering av bærekraftige bioråoljer i eksisterende raffinerier. Karakteristisk for efuels er at det produseres med elektrisitet, hydrogen, og karbondioksid. Alle råstoffene og innsatsfaktorene til efuels må enten være fornybare eller lavkarbon med en klimateffekt >65% for å kunne oppfylle minimumskrav for bærekraft. Verdikjedene for både efuels og biobaserte syntetiske flydrivstoff har utfordringer med å få tak i store mengder fornybar kraft, hydrogen, bærekraftig karbon og biomasse for 2. og 3. generasjon avanserte biodrivstoff. Dette gjelder dessuten alle sektorer, og spesielt tungtransport, skips- og luftfart som har færre muligheter for elektrifisering. Disse næringene har et stort behov for mer fornybar energi, kraft, hydrogen og bioressurser som kan konverteres til bærekraftige flytende drivstoff med en høy energitetthet. Biomasse til avanserte biodrivstoff har gode muligheter for en videre stor oppskalering i symbiose med trelastindustrien, ny lavkarbon og fornybar hydrogenproduksjon, og biodrivstoff for andre sektorer.

De siste 10-15 årene har det ikke manglet på ambisiøse planer for bærekraftig biodrivstoff for luftfart. Disse målene har ikke blitt nådd, men framskritt innen teknologiutvikling har blitt realisert, og flere pilotanlegg etableres. De store produksjonsanleggene har ikke blitt etablert, men det har pågått utvikling av pilotanlegg i flere år, og det er et taktskifte med flere demonstrasjonsanlegg, også i Norge og Norden. Tilgang på store mengder bærekraftig biomasse til en lav nok kostnad og tilstrekkelig klimateffekt har vist seg å være utfordrende. Dette gjelder både en rekke pilot- og demonstrasjonsprosjekter, men også nasjonalt for større mengder bioenergi til en rekke formål. Konkurransesituasjonen for biomasse har dessuten tilspisset seg fra andre sektorer.

Dagens produksjon av biodrivstoff for luftfart utgjør mindre enn 0,05% av etterspørselen pre-korona. Produksjonen forventes å øke raskt fra små volumer. Bærekraftige flydrivstoff kan ha en klimateffekt på 30-95%, dvs. en reduksjon av CO₂-utslipp sammenlignet med fossilt flydrivstoff. Flere rammeverk, bla. fornybareenergidirektivet krever en klimateffekt på 60-70%.

For å muliggjøre bruk av bærekraftig flydrivstoff i stor skala, må flere barrierer løses, hvor produksjonskostnader er det viktigste, men tilgjengelighet for både innsatsfaktorene bærekraftig biomasse og lav-karbon hydrogen (grønt og blått) er helt sentralt. Hydrogen trengs for å produsere efuels og raffinere biomasse og biooljer, men også i økt omfang for større andeler av lette fraksjoner som flydrivstoff, og behandle flydrivstoff for å oppnå spesifikke kjemiske egenskaper for å ivareta sikkerhet.

Drivstoff basert på planteoljer, HEFA - *Hydro processed esters and fatty acids*, er for tiden det mest kommersielt tilgjengelige biodrivstoffet for luftfart, og utgjør mer enn 95% av biobaserte flydrivstoff. Bærekraftig HEFA kan sannsynligvis ikke dekke mer enn 10-15% av drivstoff for luftfart, pga. begrenset tilgang på avfallsprodukter som råstoff. I Norden produseres det ~125 mill. liter/år, hvor Neste produserer alt dette i Finland. Preem produserer 90 mill. liter biobasert drivstoff per år med en innblanding av bioråoljer i et tradisjonelt raffineri, såkalt co-prosess. Dette går ikke til flydrivstoff, pga. krav om godkjenning. Preem vil heller satse på et HEFA-anlegg, hvor det planlegges å oppskalere dette fra 90 millioner liter til 360 mill. liter per år i 2025 (400%). Til sammenligning ble det i 2019 før korona brukt globalt opp mot 400 milliarder liter per år konvensjonelt fossilt drivstoff (IEA, 325 Mtoe/år). Dette er nå i 2021 nærmere halvert.

¹ Flytende drop-in kvalitet, spesifikasjoner iht. Jet A-1 parafiner, omtales som sustainable aviation fuel (SAF), og inkluderer da biodrivstoff og efuels

² Hydrogen- og batterielektiske fly vil også være viktige tiltak for klimateffekt i luftfart, men omtales ikke i dette teknologiveikartet.

Biobaserte produksjonsprosesser er fortsatt under utvikling med høye produksjonskostnader, 3-5 ganger høyere enn fossil produksjonskostnad for de mest modne verdikjedene, men opptil mer enn 10 ganger høyere for de minst modne. Totale produksjonsvolumer av bærekraftig flydrivstoff i Norge forventes i 2030 å kunne bli 50 mill. liter per år i 2025 og 300 mill. liter per år i 2030, men visjonene fra fem aktører ligger på over 790 mill. liter per år. Dette tilsvarer 2/3 av forventet forbruk av flydrivstoff i Norge (pre-korona). Forbruket av biodrivstoff i 2030 i Norden og Europa forventes å øke til 5% basert på omsetningskrav. EU diskuterer omsetningskrav på 2,5% i 2025, og 5% i 2030, samt at flere land har høyere nasjonale krav opp mot 30%. Avtaler om forpliktende kjøp av biodrivstoff fra flyselskaper («signed offtake») er estimert til 1300 mill. liter per år globalt, ca. 10.000 mill. liter for avtaleperioden. Luftfartsbransjen i USA har nylig også uttrykt at de vil forplikte seg til 7570 mill. liter i 2030, ca. 10% av forbruket i USA.

Norsk kompetanse, industriutvikling og eksisterende og nye verdikjeder under etablering med infrastruktur ligger meget godt til rette for å oppskalere både biodrivstoff, og efuel for å utnytte biogent karbon. Norge har et godt utgangspunkt for produksjon av bærekraftig drivstoff gjennom høy fornybarandel i kraftproduksjonen og betydelige bioressurser. 30 prosent av drivstoff-forbruket i norsk luftfart kan dekkes av sidestrømmer fra norsk skog. Dette økosystemet av infrastruktur og kompetanse kan Norge bygge videre på, hvor Norge allerede har et konkurransefortrinn med ledende selskaper og kompetansemiljø for fornybare og lavkarbon drivstoff og kjemikalier med infrastruktur for hydrogen og CO₂-fangst med håndtering.

De samme verdikjedene har også stor betydning for å produsere biobaserte flydrivstoff med høy klimaeffekt. Mye av den samme infrastrukturen kan benyttes for hydrogen, fangst og transport av CO₂, transport av biomasse, og sluttproduktet flytende hydrokarboner med lette fraksjoner som flydrivstoff. Ny infrastruktur og teknologi som utvikles av norske aktører i samarbeid med internasjonal ekspertise, bidrar til å legge til rette for oppskalering av lavkarbon og fornybar hydrogen, og CO₂-håndtering, som kan bidra til en høy klimaeffekt for norskprodusert bærekraftig flydrivstoff.

Tilgjengelig bærekraftig biomasse i Norge, Norden, Europa, USA, og globalt i forhold til biomasse-energi tilgjengelig er estimert til å være tilstrekkelig i flere regioner hvis alle de godkjente teknologirutene oppskaleres. Det gjenstår å se om alt dette volumet er bærekraftig og med en tilstrekkelig klimaeffekt. Flere av produksjonsrutene kan dekke opptil 10-60% av drivstoffbehovet, som innebærer at alle prosessene og nye må oppskaleres. Nye prosesser for bærekraftig flydrivstoff som er under godkjenning må utvikles og testes de neste årene for å kunne dekke etterspørsel og nå klimamål. For å sette det i perspektiv så må alt energivirke og tømmer som brukes globalt til bioenergi i dag oppskaleres med 300% for å kunne dekke alt forbruk av flydrivstoff. I Norge kan 30% av drivstoff-forbruket til luftfart dekkes med dagens uttak av biomasse og restprodukter, fra primært skogbruk og treforedling. Dette kan økes til 50% (600 mill. liter) med økt uttak av biomasse, og er basert på betraktninger om et balansekvantum og en bærekraftig forvaltning.

Marin biomasse har et potensiale for økt bruk i luftfart på lang sikt. De første små, men viktige stegene for å utnytte marin biomasse er nådd ved at to nye ruter ble godkjent i 2020, som kan håndtere mikroalger og våt biomasse. Flere forskningsprogram og initiativer for storskala taredyrking, samt nye godkjente prosesser for hydrotermolyse kan ha potensiale for konvertering av våt biomasse til flydrivstoff.

efuels har et potensiale for lavere utslipp og mindre utfordringer med bærekraft relatert til biomasse enn biodrivstoff, men har sine utfordringer med tilgjengelighet for bærekraftig CO₂, og et høyt energiforbruk med stort behov for mye fornybar kraft. Efuels for luftfart kan benytte Fischer-Tropsch-prosessen med syntesegass. Det er ikke funnet dokumentasjon på at selvstendige anlegg som produserer efuels er godkjent direkte for luftfart og innblanding. Den mest egnede ruten for å få bærekraftig flydrivstoff fra efuels er på kort sikt å benytte co-prosessing hvor eksisterende raffinerier blander inn delvis prosesserte hydrokarboner fra efuel-anleggene («crudes»).

Begrep som «bærekraftige fornybare efuels» og «bærekraftige lavkarbon efuels» kan forventes å bli benyttet. Dette er på lik linje som for hydrogen i EU taksonomi og rammeverk for sertifisering og opprinnelsesgarantier. Begge «typer» efuels vil kunne ha en klimaeffekt på mer enn 70%, men lavkarbon tillater å ha noe fossil energi, hydrogen og CO₂. Mange av efuels-aktørene, også de norske, har nettopp planer om å benytte fossilt CO₂ fra sidestrømmer i industri

for oppstart og pilotanlegg. Disse prosessene kvalifiserer derfor ikke umiddelbart som fornybare drivstoff, men heller merkelappen lavkarbon selv om de har like stor klimaeffekt. En livssyklusanalyse vil vise klimaeffekten for de ulike verdikjedene. Flere av efuel-aktørene planlegger riktignok å inkludere atmosfærisk eller fornybart og biogent karbon fra fanget CO₂. Rammeverket for beregning av klimaeffekt og definisjon av hva som er bærekraftig eller fornybart CO₂ forventes fra EU i juni 2021 i forbindelse med oppdatering av fornybardirektivet. Utredninger fra EU Aviation refuel programme omtaler kommende rammeverk for *Renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin* (RFNBOs) og *Recycled Carbon Fuels* (RCFs).

Overordnet benyttes bærekrafts-definisjonen til ICAO, samt for biomasse i fornybardirektivet til EU, som utgangspunkt for bærekraftig flydrivstoff til luftfart. Dette er hovedsakelig basert på reduserte klimagassutslipp i et livssyklusperspektiv, og tak på råstoff som kan ha indirekte arealbruksendringer (ILUC). Analysene av bærekraftig biodrivstoff for luftfart vurderer derfor «avanserte råstoff og biomasse» laget av energivirke og biomasse-rester, biomasse som ikke konkurrerer med matproduksjon, lavkarbon hydrogen og fornybar elektrisitet.

Metoder for livssyklusanalyser (LCA, life cycle assessments) utføres i mange tilfeller med uklare forutsetninger, systemgrenser og datagrunnlag. Bærekraft med LCA-metode og rammeverk for både beregninger og regnskapsføring av klimagassutslipp forventes å bli vesentlig forbedret og tydeligere i europeisk sammenheng i løpet av 2021. ICAO og Corsia-rammeverket har publisert referanseverdier som kan gi en pekepinn på hvor stor klimaeffekt ulike verdikjeder med teknologier og råstoff kan ha. Et nytt rammeverk, eller tydeligere veiledninger, kan forventes i forbindelse med fornybardirektivet og grønn finans innenfor EU taksonomi er på høring og forventes å bli avklart i løpet av 2021. **Bærekraftige flydrivstoff kan ha en klimaeffekt hvis CO₂-utslippet fra produksjonsprosessen og bruk absorberes i kretsløpet raskt nok.** Det er risiko for at FNs klimapanel IPCC sine mål for å unngå temperaturstigning overstiges i 2050, selv med biogent CO₂-utslipp, da det ikke absorberes raskt nok i naturlige kretsløp på kort sikt.

1.1 Executive summary

Sustainable aviation fuel will play a crucial role in achieving targets for fossil-free aviation and major emissions cuts by 2030 and 2050, especially for long-haul flights. This fuel can be produced from different biomass feedstocks via seven approved production processes with 10-50% blending in the current infrastructure for fossil fuels. Several processes are under development to be approved, which can enable several types of raw materials and biomass. Efforts are also being made to approve a 100% blending.

The definition of sustainable aviation fuel (SAF) now also involves efuels (electro-fuels), and co-processing of sustainable “biocrudes” in existing refineries. Efuels are produced with electricity, hydrogen, and carbon dioxide. All the raw materials and input factors of efuels must be either renewable or low carbon with a climate effect >65% in order to meet the minimum requirements for sustainability. The value chains for both efuel and bio-based synthetic aviation fuels have challenges in obtaining large amounts of renewable energy, hydrogen, sustainable carbon and biomass for 2nd and 3rd generation advanced biofuels. This also applies to all sectors, and especially heavy transport, shipping and aviation, which have fewer opportunities for electrification. These industries have a great need for more renewable energy, power, hydrogen and biomass that can be converted into sustainable liquid fuels with a high energy density. Biomass for advanced biofuels has a low availability for a substantial scale-up.

During the past 10-15 years, there has been no shortage of ambitious plans for sustainable biofuels for aviation. Pilots and plans have been detailed, but the ambitious plans have not materialized in large volumes produced. However, **there is a change of pace with several demonstration facilities, also in Norway and the Nordic countries coming online the next five years.** Access to large amounts of low-cost sustainable biomass with a sufficient climate effect has proved to be challenging. This applies to both a number of pilot and demonstration projects, but also nationally for larger amounts of bioenergy for a number of purposes. The competitive situation for biomass has also intensified from other sectors.

Today's production of biofuels for aviation accounts for less than 0.05% of pre-corona demand. Production is expected to increase rapidly from small volumes. **Sustainable aviation fuels can have a climate effect of 30-95%, i.e. a reduction in CO₂ emissions compared to fossil aviation fuels.** Several frameworks, for instance The Renewable Energy Directive requires a minimum climate effect of 70%.

To enable the use of sustainable aviation fuels on a large scale, several barriers must be solved, where production costs are the most important. The availability of both sustainable biomass *and* low-carbon hydrogen (green and blue) is key. Hydrogen is needed to produce efuels and refine biomass and bio-oils, but also to an increasing extent for larger proportions of light fractions such as aviation fuel, and to treat aviation fuel to achieve specific chemical properties.

Fuel based on vegetable oils, HEFA - Hydro processed esters and fatty acids, is currently the most available biofuel for aviation, and accounts for more than 95% of bio-based aviation fuels. Sustainable HEFA can probably not cover more than 10-15% of aviation fuel. In the Nordic countries, ~ 125 million liters / year are produced by Neste based on the HEFA process. Preem produces 90 million liters of bio-based fuel per year with a mixture of bio-crude oils in a traditional refinery, so-called co-process (5 % blending). This is not available for aviation, however PREEM plans to scale a HEFA-plan with four times this volume by 2025. In comparison, in 2019 before the corona was used globally up to 400 billion liters per year conventional fossil fuel (IEA, 325 Mtoe / year). This is now almost halved in 2021.

Bio-based production processes are still under development with high production costs, 3-5 times higher than fossil production costs for the most mature value chains, but up to more than 10 times higher for the least mature. Total production volumes of sustainable aviation fuel in Norway in 2030 are expected to be 50 million liters per year by 2025, and 300 mill. liters by 2030. However, the visions from six players are over 790 million liters per year. This corresponds to 2/3 of the expected consumption of aviation fuel in Norway (pre-corona). Consumption of biofuels in 2030 in the Nordic countries and Europe is expected to increase to 5% based on blending mandates. The EU is discussing blending mandates of 2.5% in 2025, and 5% in 2030, and that several countries have higher national requirements up to 30%. Agreements on signed offtake from airlines are estimated at 1300 million liters per year globally, approx. 10,000 million liters for the agreement period. The aviation industry in the USA has recently also stated that they will commit to 7570 million liters in 2030, approx. 10% of US consumption.

Available sustainable biomass in Norway, the Nordic countries, Europe, USA, and globally, is estimated to be sufficient in several regions when only considering the energy available from biomass. In addition, all the approved technology routes have to scale up. It remains to be seen whether all this volume is sustainable and with a sufficient climate effect.

Several of the production routes can only cover up to 10-60% of the fuel demand, which means that all processes and new ones must be scaled up. New processes for sustainable aviation fuel that are being approved must be developed and tested in the next few years in order to meet demand and achieve climate goals. To put this in perspective, all energy wood and timber used globally for bioenergy today must be scaled up by 300% to be able to cover all consumption of aviation fuel. In Norway, 30% of fuel consumption for aviation can be covered by current extraction of biomass and residual products, primarily byproducts from forestry and wood processing. This can be increased to 50% (600 million liters) with increased extraction of biomass, and is based on considerations of a sustainable yield quantity. This implies a sustainable forest management, where regrowth equals the harvest and the absorption of CO₂.

Marine biomass has a potential for increased use in aviation in the long term. The first important steps in utilizing marine biomass have been achieved by approving two new pathways in 2020, which can handle microalgae and wet biomass. Several research programs and initiatives for large-scale kelp and sea-weed cultivation, as well as new approved processes for hydrothermolysis may have the potential for converting wet biomass to aviation fuel.

Efuels has the potential for lower emissions and less sustainability challenges related to biomass than for biofuels. However, efuels has its challenges with the availability of sustainable CO₂, and high energy consumption with a great need for a lot of renewable energy. Efuels for aviation can use the Fischer-Tropsch process with synthesis gas. No documentation has been found that independent plants that produce efuels are approved directly for aviation. The

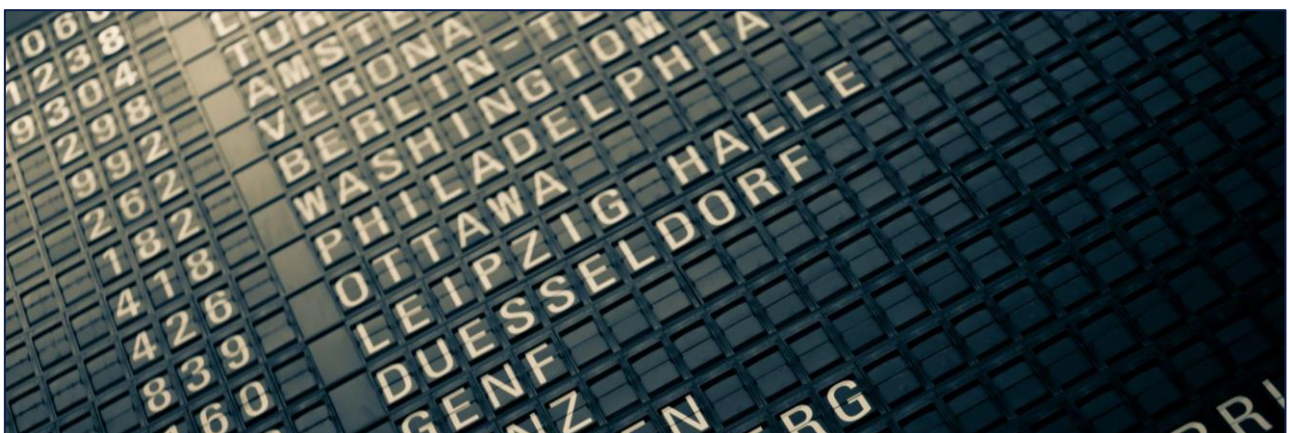
most suitable route for obtaining sustainable aviation fuel from efuels is in the short term to use co-processing where existing refineries mix in partially processed hydrocarbons from the efuel plants ("ecrudes").

Terms like «sustainable renewable efuels» and «sustainable low-carbon efuels» may increasingly be used to define efuels with only renewable energy and feedstock, while low carbon allows some fossil input. This is on par with hydrogen definitions and labeling in the EU taxonomy and framework for certification and guarantees of origin. Both "types" of efuels could have a climate effect of more than 70%, but low carbon allows some fossil energy, hydrogen and CO₂. Many of the efuels players, including the Norwegian projects, have plans to use fossil CO₂ from industrial side streams for the pilot plants. These processes may qualify for low-carbon fuels, but not achieve the renewable label in the beginning. However, several of the efuel players plan to include atmospheric or renewable and biogenic carbon from captured CO₂. The framework for calculating the climate effect and defining what is sustainable or renewable CO₂ is expected from the EU July 14 2021 in connection with the update of the Renewable Energy Directive (REDII). Studies from the EU Aviation refuel program discuss future frameworks for Renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin (RFNBOs) and Recycled Carbon Fuels (RCFs).

The ICAO definition of sustainability is generally used, as well as for biomass in the EU Renewables Directive, as a starting point for sustainable aviation fuels. This is mainly based on reduced greenhouse gas emissions in a life cycle perspective, and a ceiling on feedstocks that may have indirect land use changes (ILUC). The analyses of sustainable biofuels for aviation therefore consider "advanced raw materials and biomass" made from energy wood and biomass residues which does not compete with food production, low-carbon hydrogen, and renewable electricity.

Life cycle assessments (LCA) are in many cases presented with unclear assumptions, methodology, system boundaries and data sources. Sustainability with the LCA method and framework for both calculations and accounting of greenhouse gas emissions is expected to be significantly improved and clearer in a European context during 2021. ICAO and the CORSIA framework have published reference values that can provide an indication of the climate impact of different value chains with technologies. and raw material can have. A new framework, or clearer guidelines, can be expected in connection with the Renewables Directive and green finance within the EU taxonomy which is under consultation and is expected to be clarified during 2021.

Sustainable aviation fuels can have a climate effect if CO₂ emissions from the production process and use are absorbed fast enough by natural ecosystem processes. There is a risk that the UN's climate panel IPCC's goals to avoid temperature rises will be exceeded in 2050, even with biogenic CO₂ emissions, as it is not absorbed quickly enough in natural cycles in the short term.



2 INTRODUKSJON

Norsk luftfart har satt et ambisiøst mål om å være fossilfri innen 2050. Dette innebærer at det på flygninger i og fra Norge fra 2050 ikke skal brukes fossilt drivstoff. EU og en rekke land har også store ambisjoner om vesentlige reduksjoner av utslippene fra luftfart. Flyselskaper har forpliktet seg til karbonnøytral vekst i internasjonal kommersiell luftfart fra 2021. Flytrafikk står for 3% av de globale CO₂-utslippene. For å få ned utslipp fra flytrafikken er bærekraftige flydrivstoff avgjørende.

Det siste året har det kommet en rekke publikasjoner som vurderer flere ulike scenarier og framskrivninger med ulike andeler bærekraftig drivstoff. Noen publikasjoner har også vurdert tilbakeskrivninger med utgangspunkt i mål om nullutslipp i 2050, for å se hvor mye bærekraftig drivstoff og andre teknologier som må implementeres for å nå målene.

Norsk luftfartsbransje med Avinor i spissen har i lengre tid jobbet med å vurdere mulighetene for bærekraftig biodrivstoff til fly (Avinor, 2020). Denne rapporten bygger på rapporter og utredninger som ble gjennomført i 2013 og 2017. I 2013 var flere fagmiljøer involvert og høsten 2016 ble det også foretatt en oppdatering av studien (Rambøll, 2013), (Rambøll, 2017). Nå omhandler bærekraftig drivstoff også efuels, alle med spesifikasjoner og kvaliteter som kan blandes direkte inn i dagens infrastruktur for flydrivstoff.

2.1 Innhold i hvert kapittel – leseguide

Under gis en kort oversikt over innholdet i hvert kapittel.

Kapittel 3 gir en oversikt over kostnader, klimaeffekt og modenhet for eksisterende og nye godkjente teknologier og verdikjeder for innblanding av biodrivstoff og efuels. Kapittelet inneholder en samleoversikt av både teknologisk modenhet, kostnader, klimaeffekt, og bærekraftsutfordringer. Detaljer om teknologiene, råstoff, kostnader og klimaeffekt for verdikjedene finnes i vedlegg. Kapittelet inneholder også en oversikt over co-prosessering, som er en godkjent verdikjede for 5% innblanding i eksisterende raffinerier.

Kapittel 4 inneholder en analyse av etterspørsel og produksjon av bærekraftig drivstoff. Dette er drevet fram av ambisiøse klimamål fra både industrien med flyselskaper, men også omsetnings- eller innblandingskrav fra nasjoner og regioner. Flyselskaper har også signert avtaler om forpliktende kjøp og bruk av bærekraftige drivstoff.

Kapittelet inneholder også en oversikt over anlegg og planer for fullskala produksjon i Norge, Norden, og Europa. Anlegg i USA er også inkludert da det er og har vært mye aktivitet og utvikling av bærekraftige flydrivstoff i Nord-Amerika. Anlegg i andre regioner globalt omtales helt overordnet.

Kapittel 5 presenterer en oversikt over etablerte og oppdaterte rammeverk for bærekraft og klimaeffekt. Dette innebærer også rammeverk for innsatsfaktorene biomasse, hydrogen, karbondioksid og elektrisitet.

Kapittel 6 vurderer funn om tilgang på, potensiale og begrensninger for biomasse og andre innsatsfaktorer som hydrogen, fornybar kraft og CO₂ for efuels.

Kapittel 7 oppsummerer med hovedfunn og konklusjoner, hvor kapittel 8 har en oversikt over referanser, mens vedlegg inneholder detaljert informasjon om de godkjente verdikjedene for drivstoff for innblanding.

2.2 Bakgrunn for rapporten

Avinor har sammen med sentrale aktører i norsk luftfart (LO, NHO Luftfart, Norwegian, SAS og Widerøe) i løpet av våren 2021 utarbeidet et forslag til program for produksjon og økende innfasing av bærekraftige drivstoff til luftfart. Bærekraftige biodrivstoff innebærer avansert biodrivstoff og e-fuels (elektrofuels). Forslaget om å utarbeide et slikt program ble kommunisert som en del av lanseringen av «Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart. Rapport 4» 6. oktober 2020.

Programmet vil presentere status på teknologi, biomasse og virkemidler for økt produksjon og innfasing av bærekraftig flydrivstoff i Norge og internasjonalt. Ambisjonen er at programmet skal presentere saksfeltet og de sentrale problemstillingene på en både grundig og poengtert måte, og at dokumentet skal være et referansedokument som kan brukes overfor et bredt sett av målgrupper i årene som kommer.

Avinor har i denne forbindelse anskaffet et Teknologiveikart som vil bli en del av sluttrapporten og programmet. Dette omhandler en beskrivelse av både status og forventet utvikling på følgende aspekter:

- Godkjente teknologier og verdikjeder (certified pathways)
- Produksjon og produksjonsfasiliteter i Norge og internasjonalt
- Tilgang på, potensiale og begrensninger i biomasse og andre innsatsfaktorer
- Bærekraft og klimaeffekt for ulike typer drivstoff
- Kostnader for bærekraftig drivstoff

Rapporten vil også kort beskrive utviklingen av bærekraftig drivstoff til nå; teknologi og produksjon med en beskrivelse av situasjonen både i Norge og internasjonalt. Når det gjelder geografi brukes det følgende fire «nivåer»:

- Norge presenteres grundig
- Norden har et noe mer overordnet blick enn Norge
- Europa utenfor Norden presenteres med en generell oversikt
- Verden for øvrig presenteres overordnet

Tidsperspektivet for analysen har en hovedvekt på forventet utvikling fram mot 2030. Sannsynlig utvikling fra 2030 til 2050 beskrives mer overordnet.

Utkast til resultater har blitt presentert for både en arbeidsgruppe med representanter og aktører i luftfartsbransjen, og en referansegruppe sammensatt av frivillige organisasjoner. Innspill fra disse møtene har i etterkant blitt innarbeidet denne rapporten.

Denne rapporten inneholder *ikke* en diskusjon og gjennomgang av politiske virkemidler og barrierer. Dette vil diskuteres i en egen rapport fra Avinor og bransjen selv.



3 TEKNOLOGIER OG VERDIKJEDER FOR BÆREKRAFTIGE DRIVSTOFF

3.1 Introduksjon

I denne rapporten analyseres bærekraftige flydrivstoff, som innebærer avansert biodrivstoff og efuels (elektrofuels) basert på fornybar energi og bærekraftig biomasse, karbon og hydrogen. Bærekraftig flydrivstoff har en betydelig økonomisk og teknisk fordel ved at de ikke krever nye fly og infrastrukturinvesteringer, ettersom de kan blandes med konvensjonelt flydrivstoff og brukes i eksisterende motorer og drivstoffinfrastruktur.

Kapittel 3 gir en oversikt over eksisterende og nye godkjente teknologier og verdikjeder for innblanding av biodrivstoff og efuels. Kapittelet inneholder en samleoversikt av både teknologisk modenhet, kostnader, klimaeffekt og bærekraftsutfordringer. Utfyllende informasjon om produsenter og anlegg finnes i kapittel 4.2. Detaljer om teknologiene og råstoff for verdikjedene finnes i vedlegg.

Prosessene for alternative drivstoff til luftfart, betegnet *synthetic paraffinic kerosene* (SPK) i standarder, kan i tillegg til bærekraftig biomasse benytte alle fossile hydrokarboner og ikke-fornybar kraft, samt karbondioksid fra fossile ressurser. Fossile ressurser uten karbonfangst er ikke definert som bærekraftig, og har heller ikke en vesentlig klimaeffekt som kreves, dvs. mer enn 60-70% klimaeffekt i forhold til fossile referanseverdier. Verdikjedene for fossile verdikjeder inkluderes ikke her, bortsett fra innen co-prosessering som er godkjent for 5% innblanding av bioråoljer i eksisterende raffinerier.

På sikt kan fossile raffinerier konverteres til å håndtere biobaserte hydrokarboner. Co-prosessering av fossile og biobaserte hydrokarboner kan være et skritt på veien for å etablere kostnadseffektive flytende drivstoff med en klimareduksjon, selve med investeringer for preprosessering av biocrudes. Det er vanskelig å se at målene for luftart kan nås uten co-prosessering med «drop-in-fuel» kvaliteter³, som langdistanse-flyvninger er helt avhengige av⁴.

Fokuset er på godkjente og sertifiserte teknologier og verdikjeder, samt forventet utvikling mot 2030 med kostnader, men også hva ulike initiativ og referanser beskriver mot 2050.



3.2 Bærekraftig flydrivstoff og klimaeffekt

Bærekraftig drivstoff innebærer at hele verdikjeden tar hensyn til miljø, sosiale forhold og økonomi. For at et biobasert flydrivstoff skal kunne betraktes som bærekraftig, må det oppfylle bærekraftskriterier. For øyeblikket er ikke en god definisjon på internasjonalt nivå som dekker alle dimensjoner innen bærekraft. ICAO (International Civil Aviation Organization) har igjennom den markedsbaserte mekanismen CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) overordnede og generelle definisjoner og veiledende verdier for klimaeffekt. I det europeiske

³ Drop-in kvaliteter innebærer at det oppfyller de samme kjemiske egenskapene så drivstoffet kan blandes direkte inn i eksisterende systemer og også dermed oppfyller sikkerhetskrav

⁴ Batteri- og hydrogen-elektriske fly er enten ikke teknisk mulig for langdistanse, eller tilgjengelig de neste 10-15 årene.

regelverket er bærekraft definert i direktivet om fornybar energi, hvor det oppdaterte direktivet setter nye ambisiøse mål og inkluderer reviderte bærekraftskriterier⁵.

Definisjonene som brukes, kan dekke et bredt sett med kriterier. I tillegg til klimaeffekt med en reduksjon i klimagassutslipp, inkluderes også andre miljømessige og sosiale aspekter som biologisk mangfold, arealbruk (skog, våtmark, torvmark), vannforbruk, arbeidere sine rettigheter i hele verdikjeden fra høsting av biomasse til produksjonsprosessene av drivstoff, og støtte til den sosiale og økonomiske utviklingen i lokalsamfunn som er involvert i drivstoffproduksjon.

I forbindelse med denne rapporten er *bærekraftig flydrivstoff* definert som flydrivstoff fra biomasse og fra hydrogen og CO₂ (elektrofuels), og bioråoljer som blir prosessert i konvensjonelle raffinerier (co-prosessering). Disse må ha en klimaeffekt, med en vesentlig reduksjon av klimagassutslipp i forhold til konvensjonelt flydrivstoff, samtidig som man unngår andre ugunstige effekter som ikke er bærekraftige. De samme aspektene må inkluderes for hydrogen, fornybar energi og bruk av CO₂ som råstoff.

Tabellen under viser en oversikt over klimaeffektene som må nås under det reviderte fornybarenergidirektivet. Bærekraft for flydrivstoff vil følge fornybardirektivet i Europa og ICAO's CORSIA-ordning vil i mange tilfeller være veiledende globalt. For å beregne klimaeffekt for bærekraftig flydrivstoff, er det verdt å merke seg referansenivået fra ICAO for fossile flydrivstoff på 3,1 kg CO₂-ekvivalenter per liter (89 gram CO₂-ekv./MJ).

Tabell 1 – Nivåer for krav til redusert klimautslipp i fornybardirektivet (RED II)

Greenhouse gas savings thresholds in RED II			
Plant operation start date	Transport biofuels	Transport renewable fuels of non-biological origin	Electricity, heating and cooling
Before October 2015	50%	-	-
After October 2015	60%	-	-
After January 2021	65%	70%	70%
After January 2026	65%	70%	80%

Klimaeffekt beregnes med livssyklusanalyser for ekvivalenter CO₂-utslipp i hele verdikjeden, både direkte og indirekte for uttak av biomasse og råstoff.

Verdikjeden med «vugge-til-vinge» (Well-to-Wing, WtW), deles normalt i to for drivstoff til transport, med først «vugge-til-tank» (Well-to-Tank, WtT) og deretter «tank-til-vinge» (Tank-to-Wing, TtW).

WtT inkluderer drivstoffproduksjon, og TtW bruk av drivstoffet. Vanligvis er fasene delt mellom produksjon og bruk. For hver liter forbrukt drivstoff slippes det ut 2-3 kg karbon i atmosfæren som karbondioksid. Dette utslippet er drivstoffets klimapåvirkning for tank til vinge, dvs. utslippene fra motoren som brenner drivstoffet. Dette er imidlertid ikke drivstoffets fulle klimapåvirkning da det utelukker drivhusgassutslipp fra utvinning av biomasse, raffinering og transport av både drivstoffet og dets råvarer. Disse utslippene, akkumulert over hele drivstoffets livssyklus, tas med i well-to-tank.

Biobaserte flydrivstoff kan ha lavere klimagass-utslipp sammenlignet med fossile drivstoff. Faktisk blir utslippene fra forbrenning av biodrivstoff ofte ansett som null, gitt at drivstoffene produseres fra biomasse. Disse blir referert til som «biogene utslipp», og de antas å være null på grunnlag av at veksten av biomassen absorberer samme mengde CO₂ som frigjøres under forbrenningen. Motsatt brukes 'ikke-biogene utslipp' til å referere til produksjonsutslipp fra

⁵ [Høringsrunden](#) ble avsluttet i utgangen av april 2021, og forventes adoptert i 2021, etter publisering 14. juli 2021.

biobaserte flydrivstoff, som skyldes dyrking, høsting og transport av biomassen, samt fra omdannelsen til drivstoff. Disse «ikke-biogene utslippene» blir ikke utlignet, og utgjør følgelig en direkte innvirkning av de biobaserte flydrivstoffene.

Forskjellen mellom de «ikke-biogene utslippene» av det biobaserte flydrivstoffet, og utslippene fra å bruke et standard fossilt avledet drivstoff, utgjør den potensielle biobaserte drivstoffbesparelsen for flydrivstoff.

Det pågår diskusjoner om den mest hensiktsmessige metoden for å vurdere klimaeffektene til de forskjellige produksjonsprosessene og verdikjedene ved hjelp av livssyklusvurderinger (LCA). Dette er spesielt relevant for de nye prosessene og drivstoffene som pilotes og introduseres til markedet. I mange prosesser produseres det mer enn ett kjemikalie og drivstoff, og det er nødvendig å dele utslippene og klimaeffekten mellom disse produktene. Det er også mye debatt om hvordan man skal redegjøre for indirekte utslipp, f.eks. utslipp nært knyttet til dyrking av jordtyper med ulikt karboninnhold. Avhengig av disse indirekte effektene kan utslippene fra et biobasert flydrivstoff sammenlignet med utslippene fra produksjon og forbrenning av konvensjonelt flydrivstoff være lavere, sammenlignbare eller i verste fall enda høyere.

ICAO har definert bærekraftig flydrivstoff som alternative drivstoff som

- 1) oppnår en netto reduksjon av klimagasser på livssyklusbasis (klimaeffekt);
- 2) respekterer områder som har en stor betydning for biologisk mangfold, ivaretar naturvern og økosystemtjenester til fordel for mennesker i samsvar med internasjonale og nasjonale regler; og
- 3) bidrar til lokal sosial og økonomisk utvikling og unngår konkurranse med mat og vann.

Sustainable aviation fuels (bærekraftig flydrivstoff) are alternative aviation fuels that

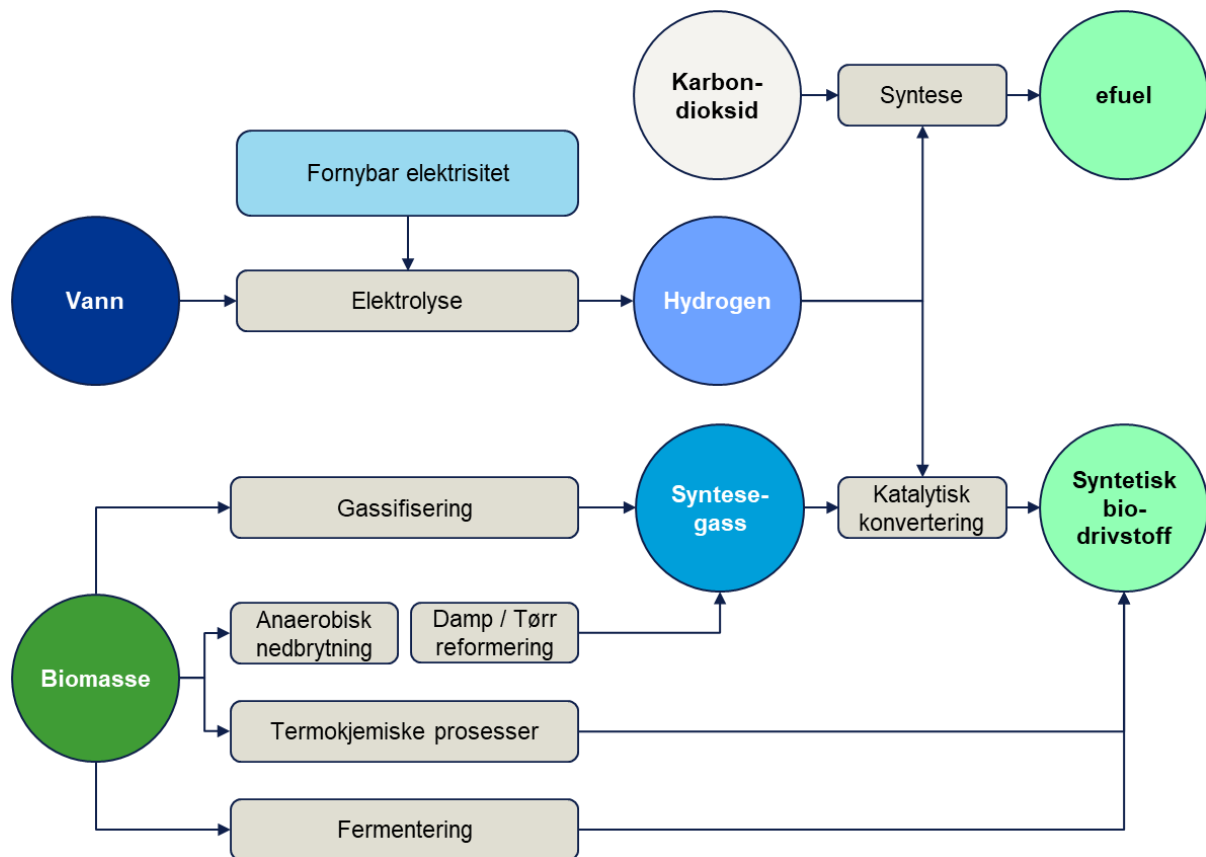
- 1) *achieve net GHG emissions reduction on a life cycle basis*
- 2) *respect the areas of high importance for biodiversity, conservation and benefits for people from ecosystems, in accordance with international and national regulations*
- 3) *contribute to local social and economic development, and competition with food and water should be avoided*

- ICAO 2018

3.3 Produksjonsruter - overordnet

Figur 1 viser overordnet hvordan bærekraftige drivstoff for luftfart kan produseres fra biomasse og via efuels. Figuren viser også at drivstoffproduksjon har et stort behov for fornybar kraft til prosessenergi og hydrogenproduksjon, samt bærekraftig biogent eller atmosfærisk karbon, henholdsvis fra biomasse eller CO₂.

Figur 1 – Verdikjeder for efuels og bærekraftig flytende biobaserte syntetiske drivstoff (DNV, 2021)



Flere verdikjeder for biodrivstoff eksisterer i liten skala, og er i ferd med å utvikles og oppskaleres. Hver verdikjede er i stor grad tilpasset lokale ressurser og produseres ved hjelp av noen få typer biomasser. Hver type av råstoff og verdikjede medfører ulik klimaeffekt og risiko og utfordringer for å ivareta bærekraft. For tilsvarende like råstoff vil det også være ulike regionale utfordringer. Et råstoff kan i flere tilfeller brukes for ulike verdikjeder og raffineriprosesser, men også omvendt kan en gitt konverteringsprosess bruke forskjellige typer råmaterialer. På den annen side, noen prosesser trenger helt spesifikke kvaliteter av råstoff. I tillegg produserer produksjonsanleggene et helt spekter av fornybare hydrokarboner, egnet for flere formål, og ikke bare luftfart. Disse anleggene tilpasser volumet av de ulike andelene til etterspørselen. Det er viktig å forstå denne kompleksiteten for å regulere og støtte utviklingen av bærekraftige drivstoff.

3.4 Biodrivstoff for luftfart – godkjente og kommende alternativer

Bærekraftig flydrivstoff for innblanding kan produseres etter godkjente og sertifiserte prosesser og teknologiruter (eng: *pathways*) for innblanding. De må også vise til en viss klimaeffekt, typisk mer enn 60-70% i forhold til fossilt drivstoff for å kunne defineres som bærekraftig sammen med en rekke andre bærekraftskrav (se kap. 5.1).

Det er per april 2021 syv prosesser som er godkjente i henhold til standarder for å kunne blandes inn.

Terminologien *sustainable aviation fuels* (SAF) brukes primært for de biobaserte prosessene som tillater inntil 50% innblanding. Efuels, også omtalt som elektrofuels eller power-to-liquids, inkluderes i økende grad i «definisjonen» av bærekraftige flydrivstoff. Efuels kan per i dag følge en av de godkjente rutene, både co-prosessering av efuel hydrokarboner, og efuel syntesegass inn i Fischer-Tropsch-prosesser.

Figur 3 viser en oversikt over dagens godkjente teknologier, når de ble godkjent, og med prosenter tillatt for å blande inn i drivstoff-systemene til flyplasser og fly. De to nyeste er HEFA fra mikroalger (HC-HEFA) og hydrotermolyse (CHJ) godkjent i 2020. Den dominerende teknologien i dag er HEFA-prosessen (Hydro-Processed Esters and Fatty Acids), som vanligvis bruker biomasse med mat- og planteoljer som er restprodukter fra annen jordbruk og plantaser. De teknologiene som mest sannsynlig vil kunne øke produksjonen av biodrivstoff de neste 10 årene er forgassing av biomasse (Fischer-Tropsch) og konvertering av biomasse til sukker for å så lage alkohol-til-jet (ATJ). Modenheten for de andre godkjente teknologene og verdikjedene er lav. Volumene produsert fra disse vil sannsynligvis være meget begrenset fram til 2030. Dette gjelder verdikjedene sukker til hydrokarboner (DSHC, Direct Sugars to Hydrocarbons), hydrotermisk flytendegjøring (HTL, Hydrothermal Liquefaction), vannfase reformering (APR, Aqueous Phase Reforming) og andre verdikjeder under utvikling.

Figur 2 – Test av biodrivstoff i DNV sine laboratorier



Figur 3 – Verdikjeder for godkjente og sertifiserte biodrivstoff, samt kommende elektrofuels og nye verdikjeder (CAAFI, standardene ASTM D7566-20c, D1655 og D4054)

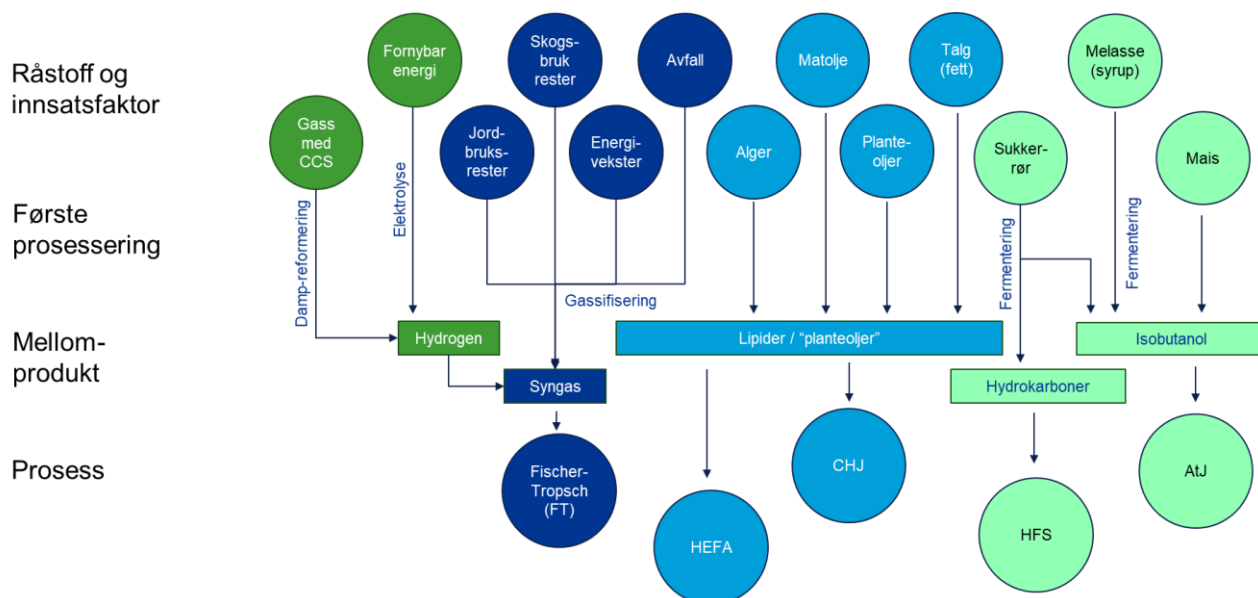
HEFA Estere og fettsyrer fra planter og animalsk fett som behandles med hydrogen <i>Hydro-processed Esters and Fatty Acids</i> 2011 50%	FT-SKP Gassifisering av biomasse for å lage syntesegass, med tilførsel av hydrogen <i>Fischer-Tropsch</i> 2009 50%	SIP Sukker til drivstoff, ved oppgradering via farnesan, fra sukkerrør eller cellulose <i>Synthesized iso-paraffins</i> 2014 10%	FT-SKA Aromatiske hydrokarboner (e.g. benzen) blandet med FT <i>Synthesized kerosene with aromatics</i> 2015 50%	Framtidige eFuels / PtL Fischer-Tropsch med kraft, H ₂ fra elektrolyse, CO ₂ biogent eller DAC – direct air capture. Også en verdikjede via metanol kan bli mulig.
ATJ Alkoholer til jet drivstoff fra etanol eller isobutanol, enten fra sukker, stivelse eller cellulose <i>Alcohol to jet</i> 2016 50%	CHJ Planteoljer til "bioråolje" med damp, høyt trykk og lite oksygen <i>Catalytic hydrothermalolysis jet fuel</i> 2020 50%	HC-HEFA Estere og fettsyrer fra mikroalger som behandles med hydrogen <i>Hydrocarbon-hydroprocessed esters and fatty acids</i> 2020 10%	«Co-prosessering» Planteoljer og animalsk fett (lipider), eller Fischer Tropsch bio-råolje i eksisterende raffinerier <i>Co-processing</i> 2015 5%	100% blending Ny arbeidsgruppe ASTM etablert februar 2021! Kommende ruter Fase 1 eller 2 for ASTM ballot: HDO-SAK / HFP / ATJ-SKA Noen flere ruter, som ikke har startet ASTM-prosess enda

De godkjente flydrivstoffene for innblanding («drop-in») har gått gjennom en godkjenings- og sertifiseringsprosess (ASTM D4054-prosess). De syntetiske drivstoffene, med ulik grad av klimaeffekt og bærekraft, er kvalifisert for

kommersiell bruk som innebærer innblanding i all eksisterende flydrivstoff-infrastruktur fra 10 til 50%. Disse godkjente og sertifiserte drivstoffene representerer per i dag syv konverteringsprosesser basert på forskjellige biomasse-typer. **At en teknologi er godkjent og sertifisert i henhold til fysiske og kjemiske egenskaper for innblanding, betyr ikke nødvendigvis at drivstoffet produseres i kommersiell skala eller er bærekraftig.** HEFA-basert biodrivstoff er det eneste biobaserte flydrivstoffet som er (delvis) kommersielt tilgjengelig på markedet i dag, men den høye markedsprisen gjør det svært ulønnsomt for flyselskapene å ta dette i bruk. Flere av verdikjedene for råstoff til HEFA er også omdiskutert i forhold til liten grad av bærekraft og klimaeffekt. HEFA-basert biodrivstoff har vært brukt i over 95% av alle flyvninger med bærekraftig flydrivstoff til dags dato, dvs. mellom 5-7 millioner liter per år i perioden 2016-2018. Produsenten Neste anslår at HEFA kan dekke opp mot 10% av flydrivstoff 35 millioner tonn, dvs. 27 mrd. liter per år ([Neste Hefa](#)).

Figur 4 viser hvilke råstoff og verdikjeder som leder fram til de godkjente drivstoffene som kan blandes inn i infrastruktur og motorer for fly, så fremt de følger nødvendige standarder og oppfyller kravene til kjemiske og fysiske egenskaper.

Figur 4 – Råstoff og verdikjeder som leder fram til godkjente og sertifiserte drivstoff for innblanding



Siden det første alternative flydrivstoffet ble godkjent i 2009, har seks drivstoff til blitt godkjent, senest to nye i 2020. De første drivstoffene var SPK-blandinger, «syntetisk parafin». Senere godkjente prosesser har inkludert parafiner med tilsetning av ringformede hydrokarboner (aromater og cyklo-alkaner) for å oppfylle kravene for kjemiske egenskaper til flydrivstoff. Drivstoffene består av en blanding av en type hydrokarboner som omtales parafiner. Lengden på hydrokarbon-molekylene og forgreningsnivået på molekylene kan variere mye for produksjonsprosessene, og må enten være over et visst nivå, eller kan ikke overstige visse nivåer, som spesifisert i standarder (ASTM D7566 el.l.). På grunn av disse faktorene varierer også mengden syntetiske bio- og elektrodrivstoff som er tillatt blandet inn med fossilt drivstoff (fra 10 til 50%). De drivstoffene som godkjennes i en forenklet og raskere prosess («Fast-Track») vil være begrenset til maksimalt 10% innblanding på grunn av sikkerhetshensyn.

Når de biobaserte drivstoffene blandes med fossilt flydrivstoff, anses de godkjente drivstoffene som konvensjonelle fossile drivstoff (ASTM-standard D1655-godkjent). Derfor blir godkjente drivstoff fra biomasse ikke behandlet annerledes enn dagens drivstoff fra petroleum og kan brukes i eksisterende infrastruktur for drivstoff på flyplasser.

Det er ikke en fysisk begrensning på kravet om maksimalt 50% innblanding av syntetiske drivstoff. Nivået for innblanding kan økes i fremtiden, selv for SPK-drivstoff, men sikkerhetsvurderinger kommer alltid først. Det er nå en

arbeidsgruppe hos ASTM som ser på 100% innblanding ([ASTM WK76054](#)). På den annen side, med den lave mengden bærekraftig flydrivstoff som produseres i dag, er det ikke en stor drivkraft for å øke innblandingsnivået på dette tidspunktet.

3.5 efuels / elektrofuels (power-to-liquids)

Efuel er en forkortelse for elektrofuels som er en fellesbetegnelse på nye teknologier og prosesser for syntetiske drivstoff. I en kjemisk reaksjon med hydrogen og CO₂ dannes hydrokarboner i gass eller flytende form. Karakterisk er at hydrokarbonene produseres med hydrogen og karbondioksid fra ulike kilder. CO₂ inneholder ikke energi som kan utnyttes. Derfor er CO₂ bare en kilde til karbon og all energien til drivstoffet trenger å komme fra en fornybar ekstern kilde som hydrogen og elektrisitet.

Klimaeffekten for elektrofuels er avhengig av opprinnelsen til karbondioksidet, hydrogenet og elektrisiteten som brukes til prosessen. Efuels kan på sikt representere større andeler bærekraftig flydrivstoff og har den fordel at det kan benyttes av eksisterende motorer og distribueres med eksisterende infrastruktur for drivstoff. Dermed er terskelen lav for å ta slikt drivstoff i bruk, og det krever ikke store investeringer i nye transportmidler eller distribusjonssystemer. I dag produseres pilotvolumer av efuels fra fossile sidestrømmer av CO₂, f.eks. fra gjødsel- eller metanol-produksjon. Efuels ser ut til å ha lavere begrensninger for arealbruk enn biobaserte ruter, i hvert fall dyrket mark, jord- og skogbruk, men har behov for store mengder fornybar kraft fra vind og sol som kan ta arealer både på land og offshore. Energi produsert per kvadratkilometer er opptil 100 ganger høyere for sol enn for produksjon av biomasse.

En første demonstrasjon av efuels har vært testet i en flyvning med KLM i februar 2021 ([KLM, Shell 2021](#)). En batch på 500 liter ble blandet inn som 5% av drivstoffet. Detaljene rundt prosessen for å lage drivstoffet er ukjent, men KLM og Shell beskriver at flydrivstoffet ble laget av både fossilt og noe biogent CO₂, samt grønt hydrogen, i Shell sitt laboratorium i Nederland. Denne konseptuelle verdikjeden og flyvningen demonstrerer at teknologien er mulig, i hvert fall med en begrenset innblanding inntil videre.

For at efuels skal kunne produseres i større skala til luftfart utenfor laboratorier må det benyttes godkjente verdikjeder, f.eks. via syntesegass og Fischer-Tropsch-prosessen, eller co-prosessering. En verdikjede via metanol kan muligens bli godkjent på sikt hvis den går gjennom godkjenningsprosessen ASTM D4054. Kartleggingen har ikke funnet at efuels enda har blitt godkjent for luftfart iht. til ASTM-standarder gjennom denne godkjenningsprosessen. I prinsippet kan «efuel-råolje» (eng: *ecrude*) prosesseres videre og produsere drivstoff til luftfart med Fischer-Tropsch syntese, som er ASTM-sertifisert for opptil 50% innblanding. Delvis prosessert efuel kan også blandes inn i eksisterende raffinerier, og følger da vanlig raffinering eller co-prosessering avhengig av sammensetning og kjemiske egenskaper.

For at produksjonen av efuel skal være fornybar eller lavkarbon, og med en klimaeffekt større enn 70% (ref. REDII), bør store deler av energien, karbon og elektrisitet være fornybar. Livssyklusanalyser vil kunne dokumentere klimaeffekt og bærekraft. Analogien til hydrogen-rammeverk, som utvikles innen CertifHy og EU taksonomi, er at en viss utslippsreduksjon må oppnås, men at det kan bli benyttet begrep som «bærekraftige fornybare efuels» og «bærekraftige lavkarbon efuels». Begge vil kunne ha en klimaeffekt på mer enn 70%, hvor lavkarbon tillater å ha noe fossil energi, hydrogen og CO₂. Ved å bruke fornybar elektrisitet fra for eksempel vind og sol, kan grønt hydrogen fremstilles ved elektrolyse. Dette hydrogenet har ingen direkte klimagassutslipp, kun indirekte fra produksjon av installasjonene. Blått hydrogen fra naturgass med karbonfangst kan i noen tilfeller oppfylle definisjoner på lavkarbon hydrogen, som forventes å bli 3 kgCO₂/kgH₂ (74% reduksjon ifht. fossil benchmark i EU taksonomi). Karbondioksid kan fanges fra atmosfæren, fra sidestrømmer eller utslippet til en industriell prosess, eller røykgass fra forbrenning. Prosessen kan få lave klimagassutslipp, hvis CO₂ fanges fra atmosfæren ved hjelp av direct air capture (DAC) hvor energien til fangstprosessen kommer fra fornybar varme og elektrisitet.

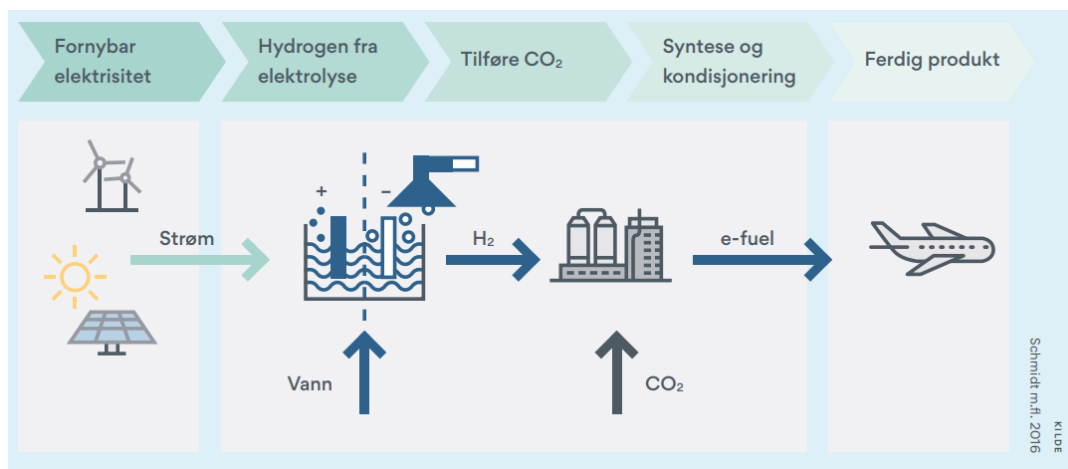
Efuels har utfordringer med energieffektivitet for prosessen og tilgang på fornybar kraft, CO₂ og hydrogen. Sammenlignet med biodrivstoff er ikke potensialet til efuels begrenset av tilgang på biomasse, men heller tilgang til

fornybart og/eller biogent utslipp med høye CO₂-konsentrasjoner, og hvorvidt teknologi oppskaleres og effektiviseres for å fange CO₂ fra atmosfæren eller naturlige utslipp (f.eks. vulkansk aktivitet). Et visst volum av CO₂ kan fanges fra utslippspunkter med både fossile og biogene andeler, hvor det biogene kan benyttes videre i efuels, mens det fossile kan lagres permanent for størst mulig klimaeffekt. Efuels har som de fleste biodrivstoff og syntetiske drivstoff også betydelig lavere partikkelutslipp i forhold til fossile petroleums-baserte drivstoff.

Pilotanlegg for efuels utvikles i flere land, også norske f.eks. Norsk e-Fuel, Nordic Electrofuel (tidligere Nordic Blue Crude) og Mo Industrial E-fuels. Det er ikke kjent i hvor stor grad aktørene vil bruke fossilt eller fornybar og bærekraftig CO₂. Nåværende og anslåtte kostnader er meget høye, spesielt ved bruk av fangst av CO₂ fra luft og atmosfæren. Kostnadene kan være meget lave hvis CO₂ hentes ut fra en industriprosess med CO₂ som biprodukt (f.eks. ammoniakk/gjødsel). Fangst av CO₂ fra punktutslipp eller røykgass med 15-20% CO₂ har en lavere kostnad enn å hente CO₂ ut av luften, som kun har 0,04% andel CO₂ (450 ppm, parts per million). Oppskalering av produksjon av efuels vil avhenge av oppskalering og kostnadsreduksjoner for fornybar kraft, produksjon av fornybart grønt eller blått lavkarbon hydrogen, og fangst av CO₂. Efuels kan spille en rolle i avkarboniseringen av luftfarten de neste årene hvis det etableres suksessfulle pilotanlegg som muliggjør fullskala anlegg og resulterende kostnadsreduksjoner. Store deler av prosessene er modne og godt kjent fra raffineriindustri, neste trinn blir å få lavkarbon og fornybar hydrogen og CO₂.

Produksjonsprosessen med hovedtrinnene for produksjon av efuels er illustrert i Figur 5. Steg 1 er hydrogenproduksjon gjennom elektrolyse av vann med fornybar elektrisitet, steg 2 er tilførsel av CO₂ og konvertering til syntesegass, før steg 3 som er synteseprosessen. Som i andre synteseprosesser produseres flytende hydrokarboner som kan raffineres til en miks av ulike drivstoffprodukter.

Figur 5 - Hovedsteg i produksjon av efuels (Schmidt et al, 2016)

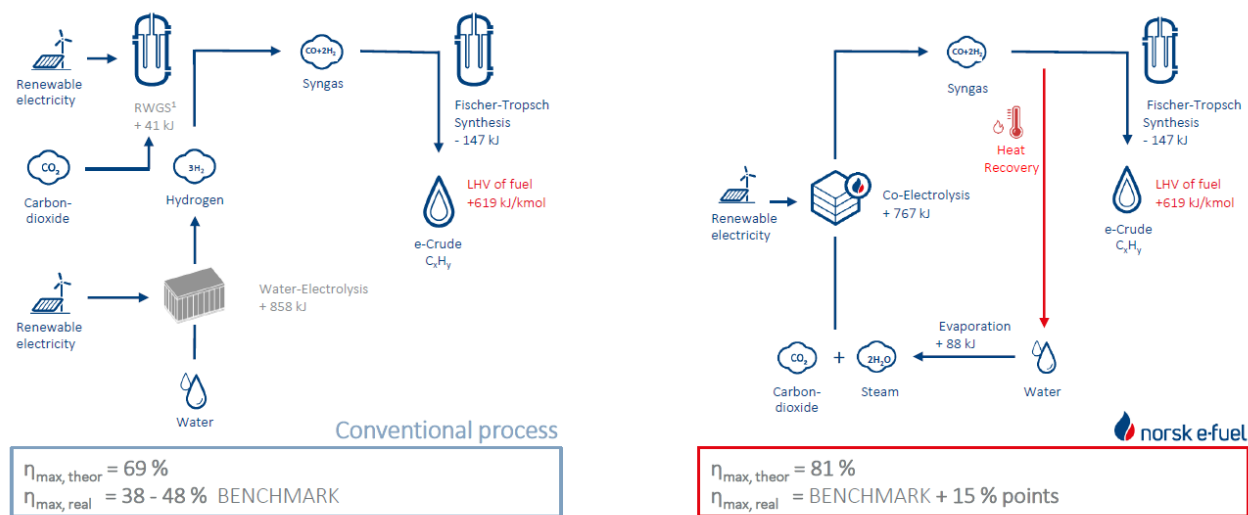


Forskjellige syntesemetoder er altså tilgjengelig for å produsere efuels som bærekraftig flydrivstoff, og da først og fremst Fischer-Tropsch syntese, eller metanol-syntese (MeOH). Fischer-Tropsch-prosessen produserer en blanding av forskjellige langkjedede hydrokarboner som må gjennomgå videre behandling for å få flydrivstoff, bensin, diesel og andre kjemikalier fra samme anlegg. I henhold til gjeldende flydrivstoffstandarder er blanding med konvensjonell parafin mulig opptil 50%. Metanolsyntese krever en videre prosessering til langkjedede hydrokarboner, i tillegg til godkjenning (ICAO working paper A40-WP/526).

Produksjon av syntesegass foregår enten, ved at hydrogen produsert med konvensjonell elektrolyse og CO₂ går gjennom en «reverse water gas shift» (RWGS)-reaksjon, eller direkte i en co-elektrolyse ved solid oxide electrolysis cells (SOEC). Fordelen med SOEC er lavere energitap, både fordi man «hopper over» et steg i prosessen og fordi en varme fra prosessen kan utnyttes. Ulempene er at det er en ny teknologi som fremdeles er i en utviklingsfase, og det er høye investeringskostnader. Sunfire, som har utviklet en egen efuel-teknologi, er en del av Norsk e-fuel, som planlegger

å bruke SOEC co-elektrolyse til å produsere syngas. Figur 6 er illustrasjoner laget av Norsk e-Fuel, som viser forskjellen mellom de to elektrolyseprosessene. Efuel-produsenter presenterer at de skal benytte lavkarbon CO₂ eller fanget fra atmosfæren, på sikt. Flere prosjekter ser ut til å benytte lavkostnad fossilt CO₂ i pilot og demo-fasen før oppskalering, f.eks. noen av de nordiske og europeiske anleggene. Det gjenstår å se hvilke CO₂-ressurser som vil bli benyttet, og hva klimaeffekten til slutt blir.

Figur 6 - Illustrasjon av konvensjonell elektrolyse og SOEC co-elektrolyse (Norsk e-Fuel, 2021)



3.6 Modenhet og utvikling for kostnadsreduksjoner og oppskalering

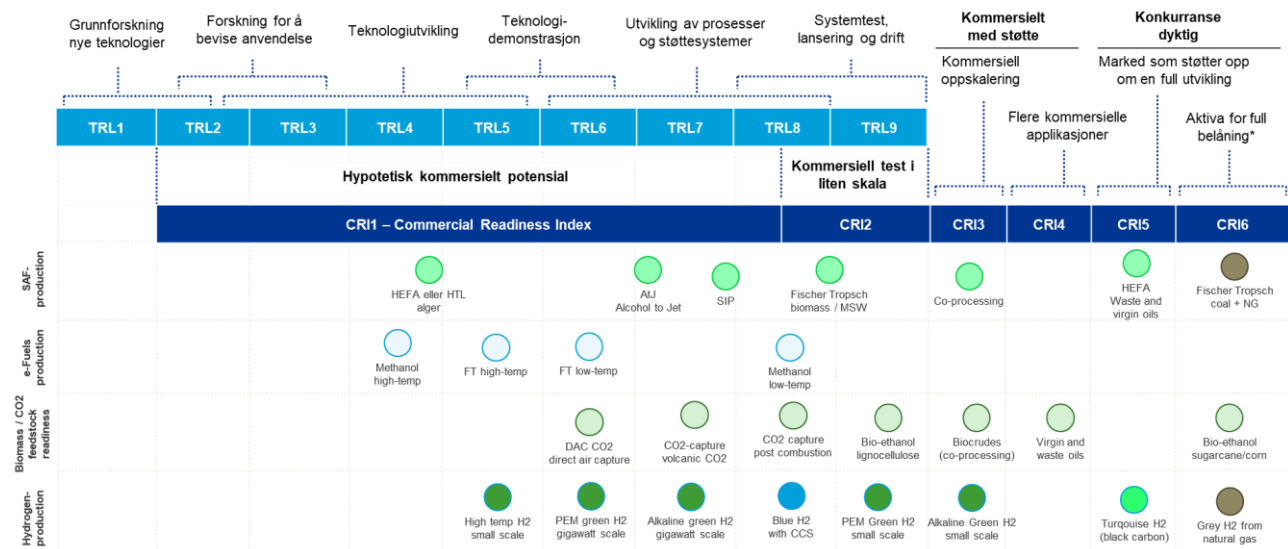
En rekke pilotanlegg forventes å bli etablert de neste årene, med planer for større demonstrasjonsanlegg eller fullskala før 2030 (se kapittel 4.2 for detaljer). Oppskalering er en stor utfordring ved at hele verdikjeder skal etableres med store mengder biomasse som skal håndteres, tilgang på hydrogen og infrastruktur for transport av drivstoffer.

For at bioraffinerier skal være levedyktige, må de ha standardiserte og «enkle» prosesser for å oppnå lave kapitalkostnader. Anleggene må også designes for å få en maksimal verdiskapning fra alle produktstrømmene anlegget produserer. Et tiltak for å redusere risikoen for bioraffinerier er å fokusere forskning og utvikling på raffinerier der flere produkter kan produseres fra et eller flere råstoff, eller delvis raffinert mellomprodukt. På den annen side er det en stor utfordring å få kommersialisert store mengder av bærekraftig flydrivstoff uten at fossile alternativer blir mer kostbare (PNNL & NREL, 2020).

Et rammeverk for å sammenligne hvor modne de ulike teknologiene, prosessene og tilgang på biomasse for drivstoff er såkalt Technology og Fuel Readiness Level (TRL, FRL). I tillegg er det en skala for kommersiell modenhet, commercial readiness index (CRI), som angir i hvilken grad prosessene har behov for subsidier og økonomisk støtte før en full kommersialisering (ARENA, 2014). Ulike kilder angir forskjellige nivåer om teknisk og kommersiell modenhet. Det er også egne ISO-standarder som definerer hva som må til for å oppfylle et nivå av modenhet.

Figur 7 viser overordnet en oversikt over modenhet for de ulike verdikjedene og prosessene (basert på en rekke kilder). En tilleggsdimensjon er «modenhet» for bærekraft og klimaeffekt, som ikke er vist her.

Figur 7 – Teknologisk og kommersiell modenhet for flydrivstoff og råstoff



Source: DNV GL team analysis, Commercial Readiness Index by ARENA (2014)
* Bankable Asset Class

Figur 7 viser også at det primært er HEFA som er kommersielt tilgjengelig. Flere flyselskaper og land har ambisiøse mål om innblanding som betyr at noen få aktører kan ta en høy pris og få dekket høye kostnader for et begrenset volum. Det er tilfeller av konsentrert markedsrett hos noen få aktører som bidrar til at disse kan ha en lønnsom drift, og gi et investeringsignal til andre aktører. På den annen side fører høye investeringskostnader og avansert teknologi til store inngangsbarrierer. Dette vil kunne føre til at det tar tid før konkurransen påvirker marginen til de etablerte aktørene.

Co-prosessering er også i noen tilfeller konkurransedyktig, men det er kun et fåtall raffinerier som tester dette og prosessen er derfor satt til CRI3 da det enda ikke er flere kommersielle applikasjoner. Det forventes at om kort tid vil co-prosessering komme til CRI6 da flere raffinerier forbereder håndtering av bioråoljer, f.eks. Preem i Sverige og Shell på flere lokasjoner. De andre godkjente prosessene har en teknisk modenhet på under TRL9, hvor gassifisering er ansett som mest modent. Verdikjedene som benytter sukker og alkoholer er fortsatt på et tidlig stadium av demonstrasjon.

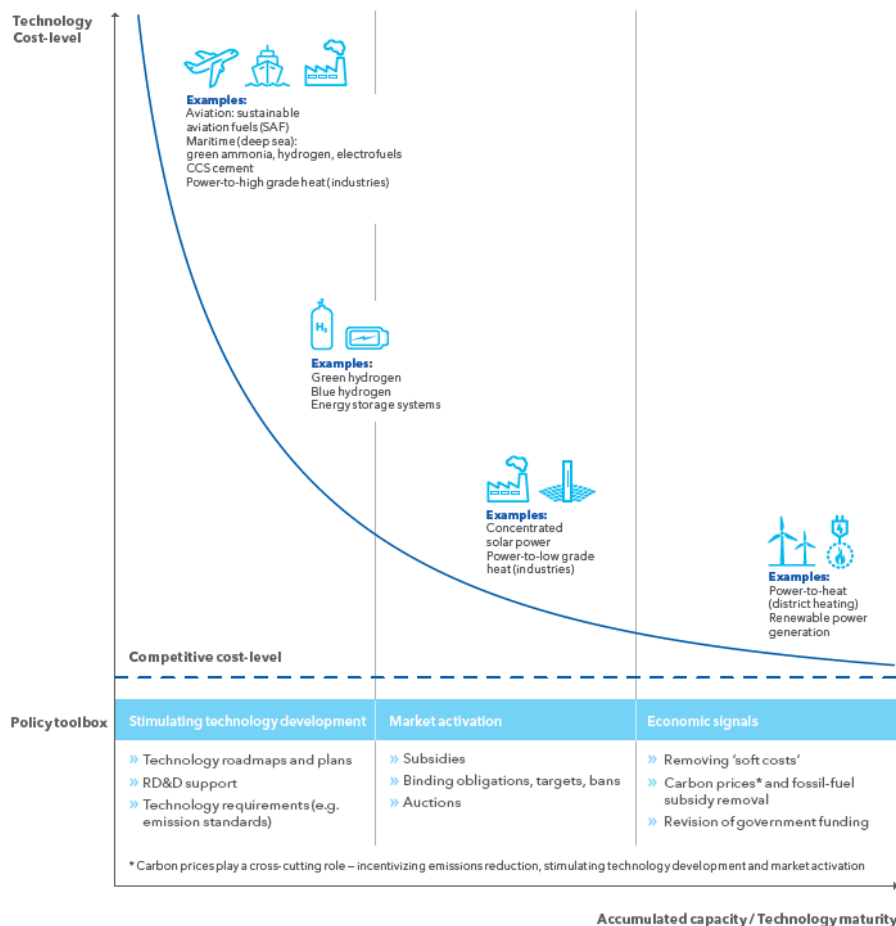
For efuels, også kalt elektrofuels eller power-to-liquids, er de fleste under TRL9, mens noen er på CRI3-stadiet. Efuels med fornybare innsatsfaktorer har generelt lavere TRL og CRI-nivå enn fossile innsatsfaktorer fra etablert industri. Det er en økende aktivitet for å teste ut produksjon av efuels, spesielt hos bilindustrien i Tyskland. Efuels benytter CO₂ fra ulike kilder, derfor er også overordnet ulike CO₂-fangst-teknologier inkludert i oversikten. Integrasjon av efuel-produksjon inn mot eksisterende raffinerier testes ut, hvor en komplett systemintegrasjon er på demonstrasjonsstadiet. Både Fischer-Tropsch og metanol-syntese ligger høyt på en TRL-skala (TRL 8-9), mens Direct Air Capture (DAC) teknologi ligger rundt TRL 6-7 (LBST – Ludwig-Bölkow-Systemtechnik, 2016), (Schmidt & Weindorf, 2016) (A4E, ACI, ASD, era, canso, 2021). Motivasjonen for investorer og utviklere for efuels og CO₂-fangst fra atmosfæren (DAC) er i mange tilfeller hvordan karbonintensiteten for elektrisitet og innsatsfaktorene regnes og allokeres, enten med opprinnelsesgarantier eller stedsbestemt.

Viktige innsatsfaktorer for biodrivstoff er først og fremst biomasse, men også hydrogen og fornybar kraft. En teknologisk og kommersiell utvikling av disse er også viktig, og de er derfor tatt med i samme oversikt. Modenhet for verdikjeder for de fleste typene biomasse er godt utviklet. Oversikten viser modenhet for en samlet verdikjede.

Kvalifisering og godkjenning av nye drivstoff for luftfart er en kostbar og tidkrevende prosess. På den annen side er utvikling av nye fly og jet-motorer i stor grad mer kostbart og kan ta lengre tid, opp imot 14-19 år. Dagens motorer og fly forventes derfor å være i bruk i lang tid. Det er en del drivstoff som er i kvalifikasjonsprosess for å bli godkjent, iht. til ASTM D4054 Qualification Process, se vedlegg 9.6.

Figur 8 viser at bærekraftig flydrivstoff er høyt på teknologi-kostnads-nivå. Likevel, kan SAF følge kurven ned mot konkurransedyktig teknologi som solceller, batterier og vindturbiner har klart de siste 20 årene.

Figur 8 – Bærekraftig flydrivstoff og policy toolbox (DNV ETO 2020)



På grunn av utfordringene knyttet til andre lavkarbon og nullutslippsløsninger for langdistanseflyvninger, slik som batteri- og hydrogenelektriske fly, vil det kunne være et stort potensial for bærekraftige flydrivstoff. Teknologiens umodenhet og høye kostnader gjør at e-fuels ikke forventes å spille noen stor rolle før etter 2030 uten bedre rammebetingelser og støtte. Efuels forventes å kunne være konkurransedyktige innen luftfart og skipsfart etter 2030 (Dansk Energi, 2020).

Potensialet for forbedringer i mange av produksjonsalternativene ligger hovedsakelig i utvikling av brenselceller for elektrolyse (spesielt faste oksidceller) og for å utvikle katalysatorer for raskere og mer fullstendig konvertering fra for eksempel syntesegass til drivstoff.

Skal det produseres efuels i stor skala og bruke CO₂-fangst fra luft (DAC), kan vannforbruk bli en begrensende faktor. Fangst av CO₂ fra luft krever store mengder vann av høy renhet. Vann trengs riktignok også for produksjon av biomasse, og for elektrolyse av hydrogen. Bruk av saltvann via desalinerings er en teknologi som også utvikles i parallell for å kunne produsere store mengder hydrogen uten å bruke begrenset ferskvann.

3.7 Klimaeffekt for bærekraftige flydrivstoff

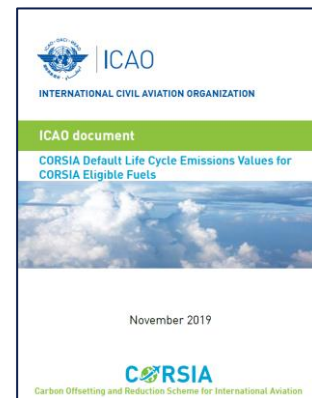
Det er behov for mange verdikjeder med flere ulike råstoffer og teknologier for å oppnå bærekraftig luftfart og nå målene om nullutslipp. Selv om batterielektriske, hybrid-elektriske og hydrogendrevne fly på lengre sikt kan utgjøre større

andeler for kort- og mellomdistanser er bærekraftig flydrivstoff i stor skala fra en rekke kilder nødvendig for å nå utslippsmål.

Når klimaeffekt for bærekraftig flydrivstoff skal vurderes benyttes uttrykket «emissions reduction factor» (ERF). Denne er definert som: *Emissions reduction factor is the lifecycle CO₂ benefit of sustainable aviation fuel, once CO₂ reduced through the production or growth of the feedstock, and production CO₂ has been accounted for.*

En viktig referansekilde for klimagassutslipp for bærekraftig flydrivstoff er [ICAO sin oversikt](#), *CORSIA Default Life Cycle Emissions Values For CORSIA Eligible Fuels*. Denne oversikten har en tabell med referanseverdier som brukes av en rekke studier for å vurdere klimaeffekt i ulike scenarier basert på mengder av råstoff som kan brukes. Hva den faktiske klimaeffekten av de ulike råstoffene og teknologiene er, må dokumenteres for hver enkelt leverandør i forhold til deres verdikjede og prosesseringsanlegg.

Klimaeffekt varierer fra 30% til 90% i ICAO Corsia oversikten, basert på at fossilt utslipp har 89 gCO₂e/MJ. Dagens mest lovende verdikjeder for biodrivstoff og efuels har estimert en klimaeffekt på opp imot 90%, hvis biomasse vokser opp og absorberer karbonet for biomassen raskt nok, og at CO₂ som innsatsfaktor for efuels i stor grad er biogent eller fra fanget fra atmosfæren. Flere kilder refererer til at modne verdikjeder for bærekraftig biodrivstoff for luftfart ligger på 70% i gjennomsnitt.



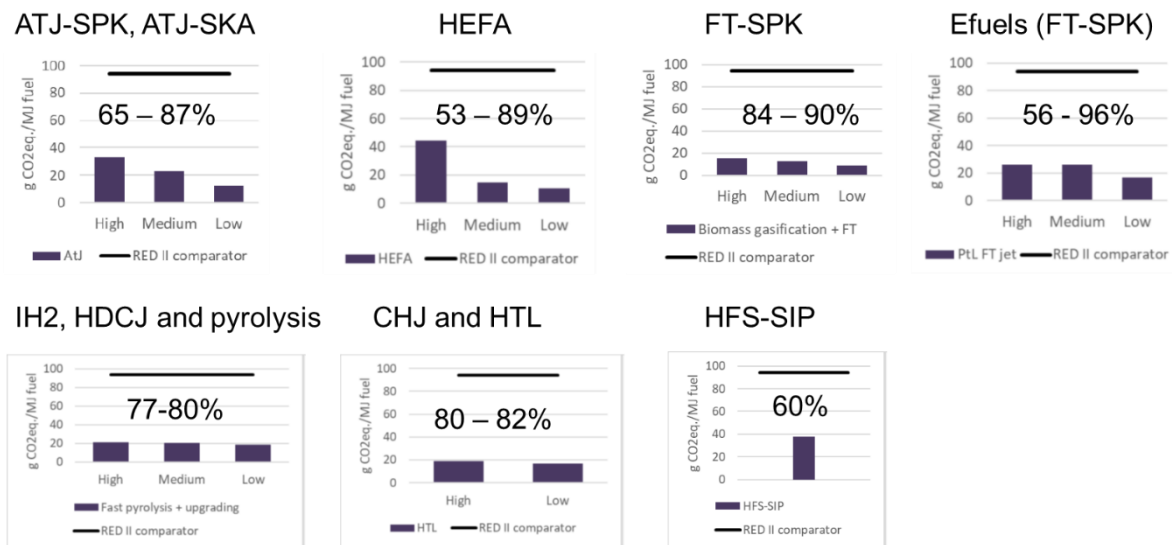
Utfordringen med å sammenligne klimaeffekt mellom ulike referanser er at tallene er basert på forskjellige systemgrenser og datagrunnlag, da hver verdikjede er unik og varierer i stor grad. Variasjonen avhenger også både av energieffektiviteten og konverteringstraden per masse-enhet («masseeffektiviteten») til verdikjeden. Klimaeffekt måles i forhold til energi-innholdet i biomassen og til slutt biodrivstoffet, da det måles i gram CO₂ per energi-innhold (MJ, megajoule). Effektiviteten til prosessen i raffineriet, karbonfotavtrykket til elektrisitmiksen og dermed også hydrogen, betyr også mye for den totale klimaeffekten.

Ulike publikasjoner kan inkludere eller ekskludere CO₂-utslipp fra deler av verdikjeden, f.eks. transport av drivstoffet eller biomassen, og det kan sammenlignes med fossilt drivstoff eller fornybardirektivet sine maksimumskrav. For de mest modne teknologirutene er det et bedre datagrunnlag, mens for flere av de andre verdikjedene er det mer teoretiske beregninger. Noen publikasjoner viser også til hva som kan forventes når verdikjedene er oppskalert, da det ikke finnes etablerte verdikjeder i dag. Dessuten, en del klimaeffekter som utslipp i høyere luftlag inkluderes heller ikke, og publikasjoner referer til at det trengs mer forskning for å forstå alle effektene. Noen publikasjoner nevner også at syntetiske og biodrivstoff kan ha reduserte klimaeffekter fra utslipp i høyere luftlag pga. mindre partikler og sot. Sammenligningen med fossilt har da ofte store spenn, fra 50 til 90% klimaeffekt.

Klimagassutslipp fra produksjonsprosessen og de klimagassbesparelsene som er oppnådd sammenlignes i noen studier med nivåene i fornybardirektivet (REDII), hvor en klimaeffekt på 70% må oppnås. Publikasjonene beskriver også overordnet hvilke variabler som påvirker de rapporterte resultatene mest. I flere tilfeller er det karboneffektiviteten til hovedråstoffet og arealbruksendringer som fører til at 70% reduksjon ikke oppnås.

Figur 9 viser en sammenstilling av variasjonen de ulike godkjente produksjonsprosessene kan ha. Alle prosessene, unntatt en produksjonsprosess (HFS-SIP), har verdikjeder som er innenfor 70% klimaeffekt, i forhold til krav satt i fornybarenergidirektivet. Noen av prosessene har verdikjeder som også ikke oppfyller kravene om en tilstrekkelig klimaeffekt. At de har en tilstrekkelig klimaeffekt betyr ikke nødvendigvis at de er bærekraftige innenfor andre aspekter.

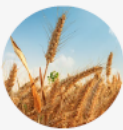
Figur 9 – Analyse av klimaeffekt for ulike verdikjeder og biomasse (E4Tech, Ricardo, 2020)



CO₂ og annen forurensning som slippes ut direkte fra flymotorer er i stor grad likt for bærekraftig og fossilbasert flydrivstoff. Det kan være noe mindre partikler og sot fra syntetiske drivstoff, enten de er fra fossile eller biobaserte. Klimaeffekt er i de fleste tilfeller betydelig lavere enn for fossilt drivstoff, men kan også være neglisjerbart mindre for enkelte råstoffer og med ugunstige direkte og indirekte arealbruksendringer.

Figur 10 viser en oversikt over hovedgruppene av de mest modne alternative drivstoffene, som også er lovende for oppskalering. Her presenteres klimaeffekt ved redusert klimagassutslipp med livssyklusanalyser. Disse tallene er optimistiske, og generalisert på et høyt nivå. Figur 10 viser en annen studie hvor flere verdikjeder kun har 40-50% redusert klimautslipp. For efuels er det estimert en klimaeffekt på 99%. Det innebærer at hele verdikjeden og alle installasjoner for fornybar kraft og hydrogen også har blitt produsert med fornybar energi og at karbonet er fra biobasert råstoff (biogent) eller fanget fra atmosfæren.

Figur 10 – Klimaeffekt for biodrivstoff for fire viktige produksjonsprosesser (WEF, 2020).

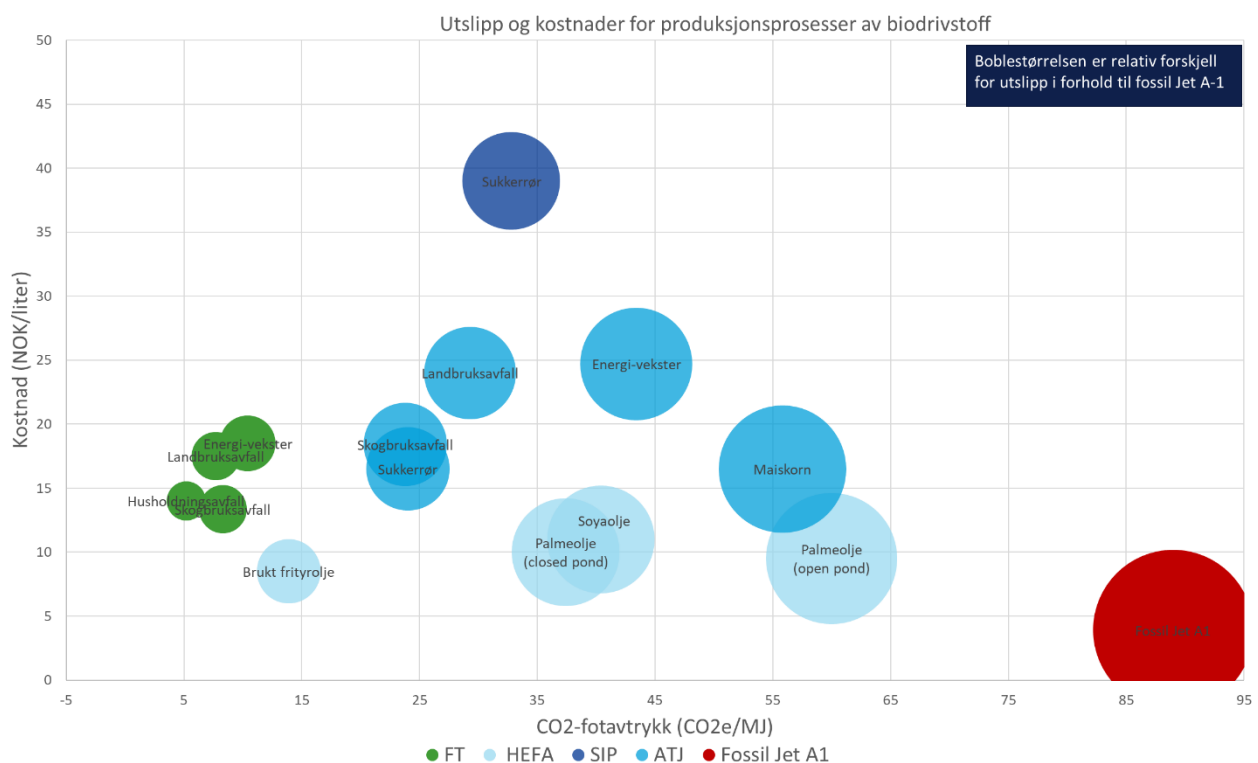
				
	HEFA	Alcohol-to-jetⁱ	Gasification/FT	Power-to-liquid
Opportunity description	Safe, proven, and scalable technology		Potential in the mid-term, however significant techno-economical uncertainty	Proof of concept 2025+, primarily where cheap high-volume electricity is available
Technology maturity	Mature		Commercial pilot	In development
Feedstock	Waste and residue lipids, purposely grown oil energy plants ⁱⁱ Transportable and with existing supply chains Potential to cover 5%-10% of total jet fuel demand		Agricultural and forestry residues, municipal solid waste ⁱⁱⁱ , purposely grown cellulosic energy crops ^{iv} High availability of cheap feedstock, but fragmented collection	CO ₂ and green electricity Unlimited potential via direct air capture Point source capture as bridging technology
% LCA GHG reduction vs. fossil jet	73%-84% ⁱⁱ		85%-94% ^{vi}	99% ^{vii}

i. Ethanol route; ii. Oilseed bearing trees on low-ILUC degraded land or as rotational oil cover crops; iii. Excluding all edible oil crops; iv. Mainly used for gas/FT; v. As rotational cover crops; vi. Excluding all edible sugars; vii. Up to 100% with a fully decarbonized supply chain

Source: CORSIA; RED II; De Jong et al. 2017; GLOBIUM 2015; ICCT 2017; ICCT 2019; E4tech 2020; Hayward et al. 2014; ENERGINET renewables catalogue; Van Dyk et al., 2019; NRL 2010; Umweltbundesamt 2016

Figur 11 viser estimer for produksjonskostnader sammen med standard LCA-verdier for CORSIA-kvalifiserte drivstoff uten å ta hensyn til indirekte arealbruksendringer. Hvis det tas hensyn til indirekte arealbruksendringer (ILUC) vil klimaeffekten bli lavere (ICAO, 2019). Verdiene sammenlignes med en fossil referanseverdi for å vise klimaeffekt.

Figur 11 - Klimaeffekt og produksjonskostnad (fra Destination 2050 (A4E, ACI, ASD, era, canso, 2021))



For å kunne sammenligne må metodene standardiseres, hvor det er en normert beregning og en beregning med de lokale forholdene. Den normerte beregningen kan ha standardverdier for f.eks. transportavstander av råstoff, karbonintensitet på strøm-miks og hydrogen, og eventuelt andeler og energimengder av produkter ut fra en prosess (eng: «product slate») og hvor mye flydrivstoff som produseres. Dette kan være hensiktsmessig for å kunne sammenligne drivstoffene seg imellom, og med fossile verdikjeder så objektivt som mulig, hvor en del eller de fleste variabler er faste.

Figur 12 viser oversikten at andre teknologier enn bærekraftig flydrivstoff kan ha en større klimaeffekt. Utfordringen er at disse teknologiene er umodne, vil innebære større kostnader, og batterier og hydrogen er ikke fysisk egnet teknologisk for langdistanse pga. lav energitetthet.

Figur 12 – Klimaeffekt med fordeler og ulemper for ulike energibærere for luftfart (WEF, 2020)

Comparison vs fossil kerosene	1		2		3
	Battery-electric		H ₂ fuel cell	H ₂ turbine	Sustainable aviation fuel
Climate impact ⁱ		100% reduction ⁱ	75%-90% reduction	50%-75% reduction	30%-60% reduction ⁱⁱ
Aircraft design		Low-battery density limits ranges to 500km–1,000km	Feasible only for commuter to short-range segments	Feasible for all segments except for flights >10,000km	Only minor changes
Aircraft operations		Same or shorter turnaround times	1-2x longer refuelling times for up to short range	2-3x longer refuelling times for medium and long range	Same turnaround times
Airport infrastructure		Fast-charging or battery exchange system required	LH ₂ distribution and storage required		Existing infrastructure can be used

Major advantages Major challenges

3.8 Kostnader for bærekraftige flydrivstoff

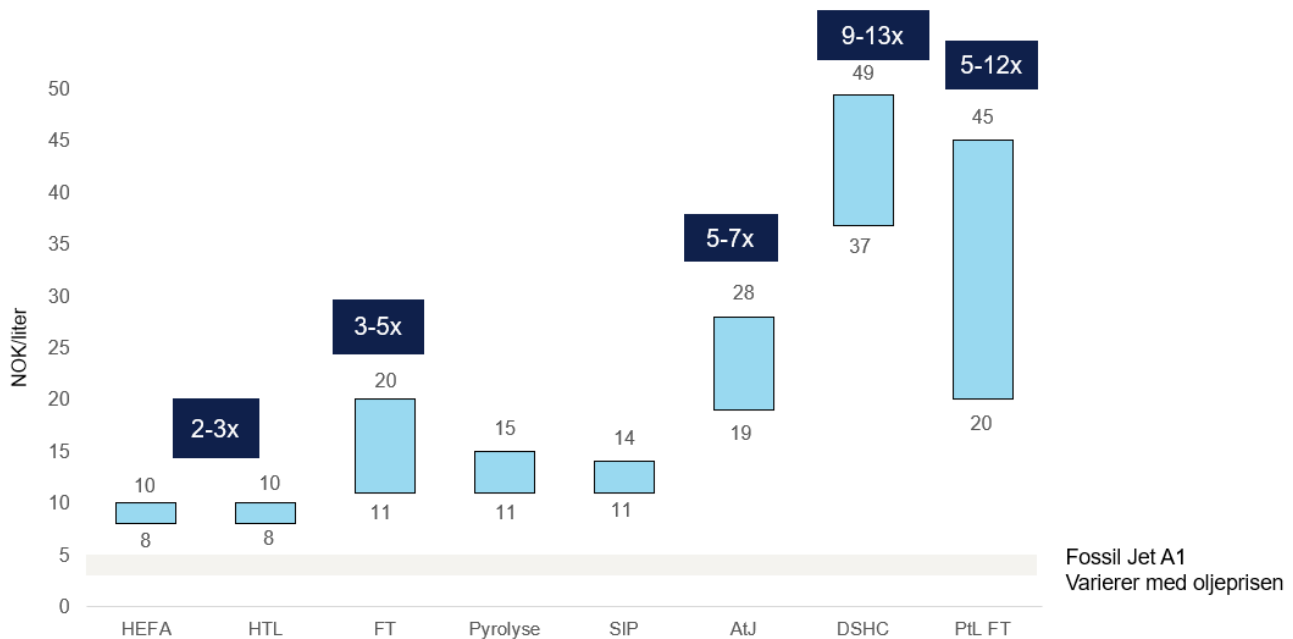
En stor utfordring for bærekraftig flydrivstoff i dag er at kostnad og pris er høyere enn for fossilt flydrivstoff. Spennet kan være fra 2-3 ganger høyere for modne verdikjeder, og opptil 10 ganger for umodne verdikjeder. Drivstoffkostnader utgjør en stor kostnad for et flyselskap, det kan være mer enn 30% av driftskostnadene (IATA 2018). Flyselskapene har derfor liten mulighet til å kjøpe inn flydrivstoff med en høyere kostnad. Forskning og utvikling og oppskalering kan bidra til å redusere kostnadene. Kostnadene for fossile drivstoff og fossile utslipp må også øke for at bærekraftige flydrivstoff kan ha mulighet for å bli konkurransedyktige. Hvis både kostnadene for bærekraftig flydrivstoff med hjelp av FoU med oppskalering reduseres, og at kostnadene for fossile flydrivstoff og fossile utslipp øker, kan produksjon av bærekraftig flydrivstoff bli konkurransedyktig på sikt.

Å skalere opp nye produksjonsprosesser fra pilotanlegg til demo og fullskala produksjon krever mye risikovillig kapital. Evnen til å skaffe finansiering blir stadig mer utfordrende fordi skalaen på anlegg og produksjonsvolum vil øke før risikoen kan reduseres. Bevis på at risiko reduseres skjer først etter at det første anlegget er etablert, eller til og med etter flere påfølgende anlegg. En annen utfordring som bør kartlegges bedre er hvorvidt kostnadene per liter for biodrivstoff og efuels kan komme helt ned på fossile kostnadsnivåer og bli konkurransedyktige. På grunn av tekniske begrensinger for både tilgang på råstoff og for prosesseringsanlegg vil bærekraftige flydrivstoff høyst sannsynlig ikke kunne bli konkurransedyktige med fossile alternativer på lang sikt uten at fossile hydrokarboner har en økt kostnad, f.eks. representert med CO₂-kostnader knyttet til det fossile utslippet i verdikjeden.

De viktigste kostnadsdriverne for bærekraftig flydrivstoff-produksjon er råstoffkostnader, investeringskostnader i anlegget, samt kostnad for strøm og hydrogen. Råvarekostnaden avhenger av tilgjengelighet og etterspørselen fra andre sektorer. Figur 13 viser produksjonskostnader for bærekraftig flydrivstoff ved ulike teknologiruter basert på ulike studier. HEFA er den eneste teknologien som er kommersielt tilgjengelig i dag og hvor kostnadene kan estimeres mest nøyaktig. For prosessene som enda ikke er kommersielle er kostnadene estimert med modeller og erfaring fra

pilotanlegg (A4E, ACI, ASD, era, canso, 2021). Kostnadene varier med innsatsfaktorer, systemgrenser og beregningsmetoder.

Figur 13 – Produksjonskostnader for bærekraftig flydrivstoff (SOU, 2019), (A4E, ACI, ASD, era, canso, 2021), (DENA, 2019).

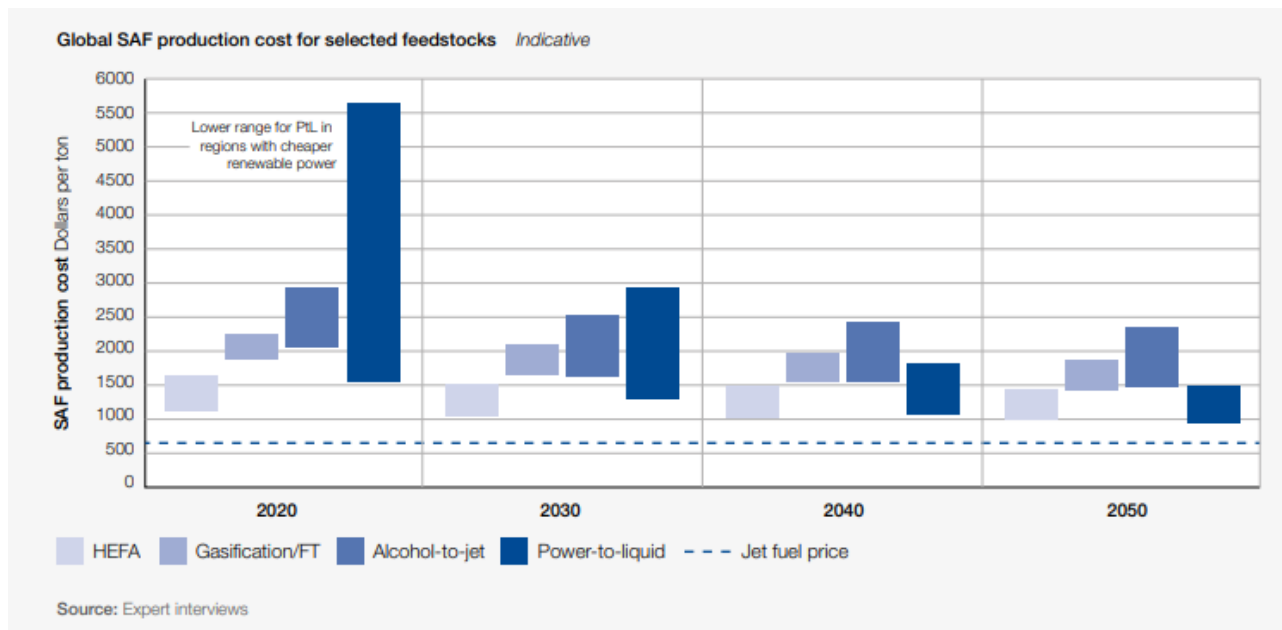


Det er viktig å understreke at produksjonskostnad ikke er det samme som prisen kjøperen må betale. Prisen på drivstoff, både fossilt og bærekraftig, er avhengig av tilgang og etterspørsel. Ved knapphet på bærekraftig drivstoff styres prisen av kjøperen med høyest betalingsvilje. I dag karakteriseres markedet for HEFA og biodiesel (HVO) av få produsenter og høy betalingsvilje, noe som fører til høye priser. Produsenter kan dessuten i noen grad velge hvilke produkter som skal produseres fra et raffineri. De kan skifte produksjonen over på større andel biodiesel hvis etterspørselen og markedet er bedre for disse produktene. Prisen på biobasert flydrivstoff vil i mange tilfeller ikke bli lavere enn markedsprisen på biodiesel (SOU, 2019). Med en økende kostnad for CO₂ er det også viktig å ta reduksjon av CO₂-utslipp i betraktning når man sammenligner bærekraftig flydrivstoff med fossilt flydrivstoff.

Utviklingen av et nytt drivstoff uten langsiktige kjøpsavtaler er meget utfordrende. Se kapittel 4.2 for volumer som er forpliktet av bransjen, en start for å øke volumene, og sannsynligvis redusere kostnadene.

Kostnadene for produksjonsanleggene for bærekraftig flydrivstoff-produksjon forventes å reduseres de neste årene, mens andre effekter som mer kostbar biomasse og konkurranse om de ulike bærekraftige drivstoffene kan føre til økte priser (Klimakur 2030). Produksjonskostnadene kan følge en reduksjon med storstilt oppskalering, vist som estimer i Figur 14. Spesielt for efuels er det stort potensiale for kostnadsreduksjon som følge av teknologiutvikling og økende tilgang på energi til en lavere kostnad. Prisene på den annen side kan øke pga. økt konkurranse for innsatsfaktorene, og at innsatsfaktorer som hydrogen stabiliserer seg på et nivå for grå med utslippskostnader, og ikke nødvendigvis lavere. Det avhenger altså om hvilke verdikjeder som fører til pris-settende nivåer for alle innsatsfaktorer og sluttprodukter.

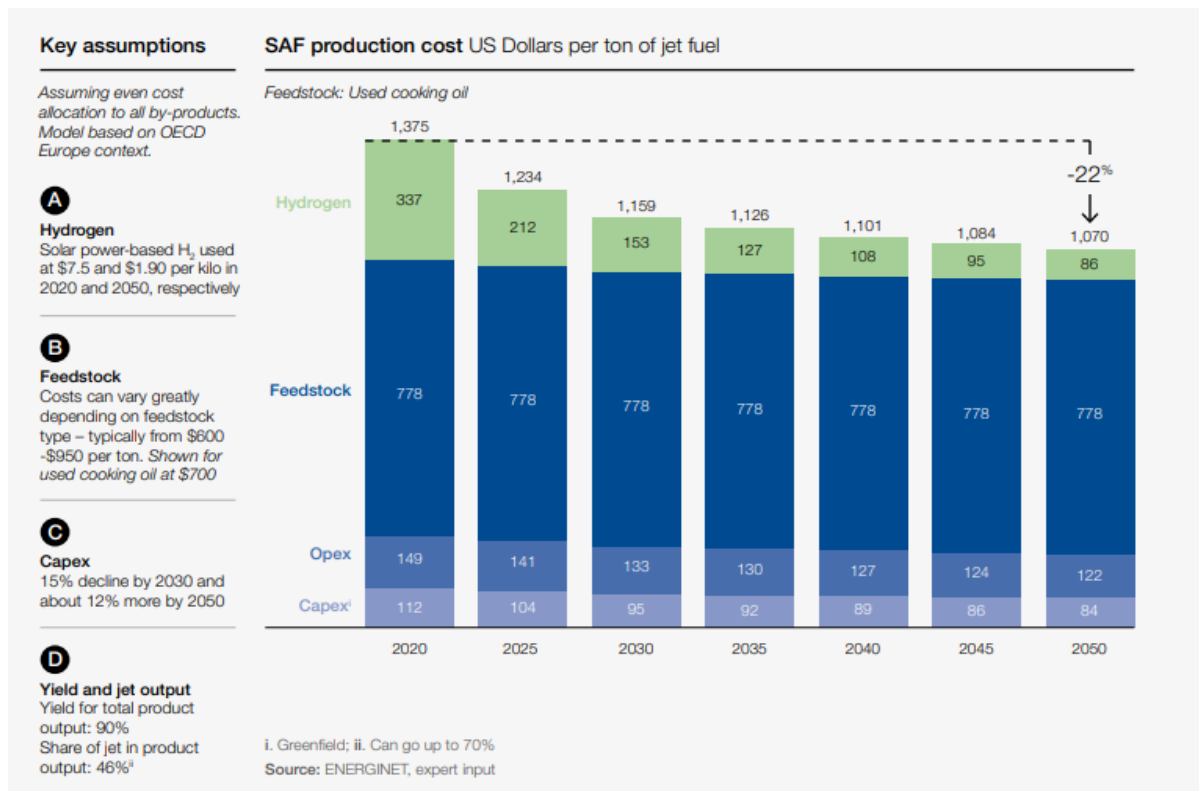
Figur 14 - Prosjeksjon av produksjonskostnader mot 2050 (WEF, 2020)



3.8.1 HEFA

Figur 15 viser en produksjonskostnad på 8-10 kroner per liter for bærekraftig flydrivstoff produsert med HEFA-prosessen. Hoveddelen av dette er råstoffkostnad, og investeringskostnadene er relativt lave. HEFA-teknologien har begrenset potensial for reduksjon av produksjonskostnad, da råstoffkostnaden ikke er forventet å bli lavere på grunn av begrenset tilgjengelighet. Kostnadene for vegetabiliske oljer er relativt høye og har historisk fulgt oljeprisen. Figur viser et eksempel på kostnadselementer ved en HEFA-prosess i USD per tonn flydrivstoff, og at fremtidig kostnadsreduksjon hovedsakelig er knyttet til reduserte hydrogenkostnader.

Figur 15 – Inndeling og utvikling av produksjonskostnad for en HEFA-prosess (WEF, 2020)

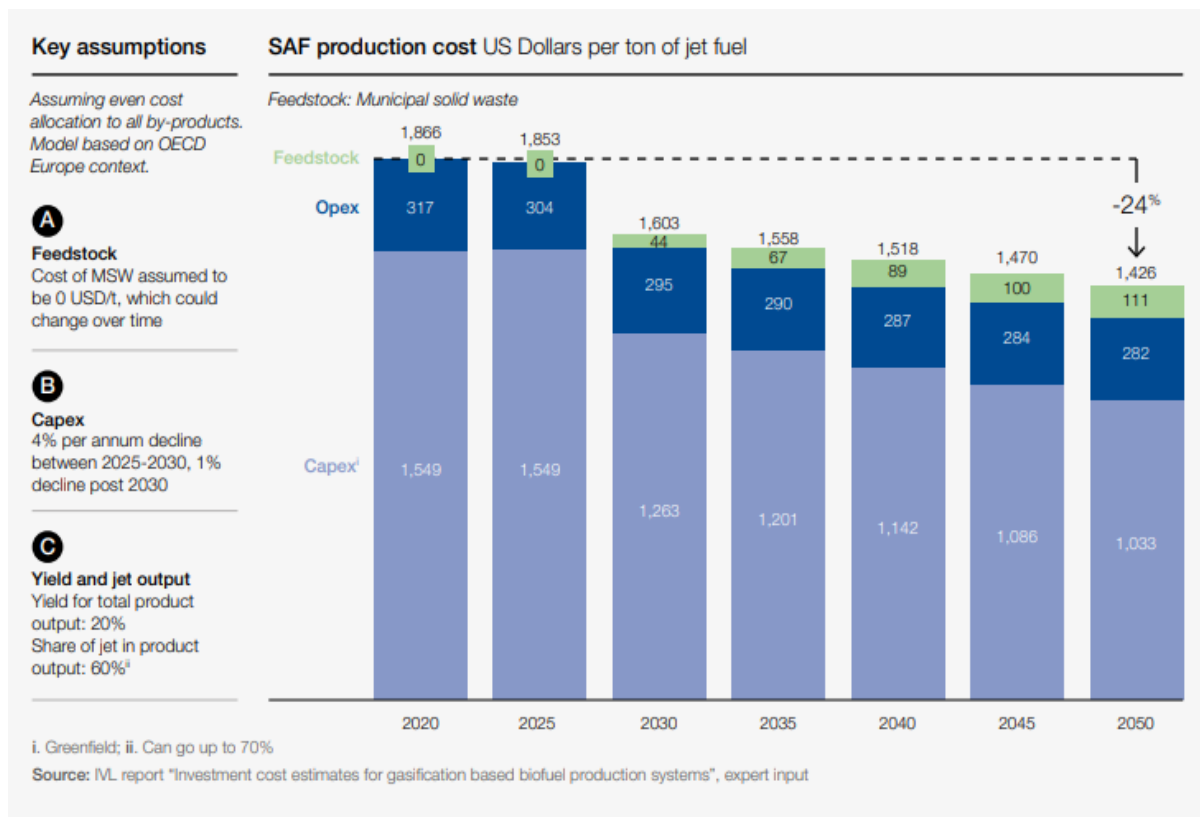


3.8.2 Termokjemiske verdikjeder

Termokjemiske prosesser inkluderer både Fischer-Tropsch, pyrolyse og hydrotermolyse (HTL). Figur 15 viser en estimert produksjonskostnad på 11-20 kroner per liter for FT, hvis det ikke innebærer råstoffkostnader for husholdningsavfall(!). Hoveddelen av kostnaden er investeringskostnader, som kan være meget høye, da skala er viktig for å få god økonomi for anlegget. Det finnes lite erfaringstall på faktiske produksjonskostnader, og studiene disse kostnadsestimatene baseres på understreker at kostnaden for det første kommersielle anlegget kan være betydelig høyere (SOU, 2019).

Figur 16 viser inndeling av kostnader for en FT-prosess basert på gassifisering av husholdningsavfall. I Norden vil det være mer aktuelt å bruke restprodukter fra skogen. For en FT-prosess basert på gassifisering av skogsråvarer vil investeringskostnadene være noe lavere, mens råvarekostnadene kan være noe høyere (WEF, 2020). For HTL og pyrolyse finnes det mindre analysegrunnlag, og produksjonskostnadene er estimert til henholdsvis 8-10 og 11-15 kroner per liter.

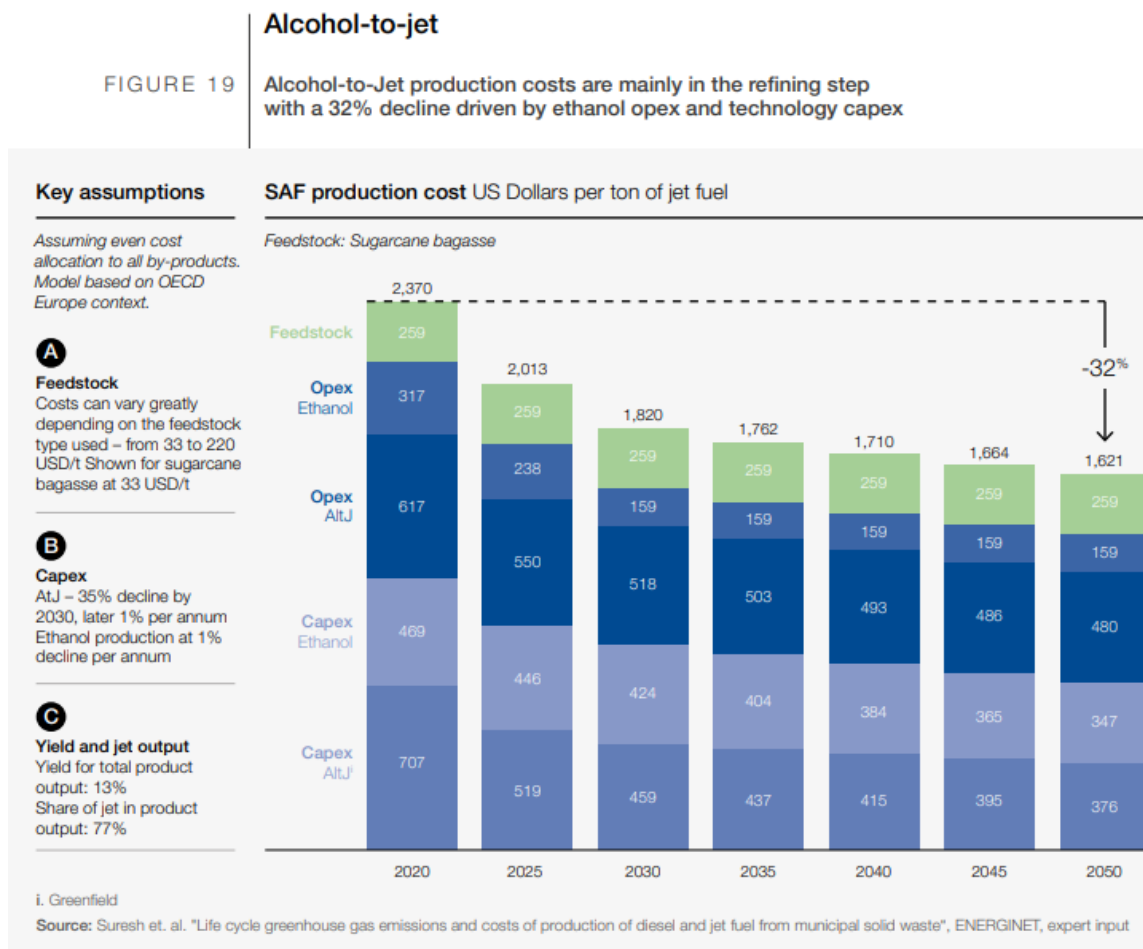
Figur 16 – Inndeling og utvikling av produksjonskostnad for en Fischer Tropsch-prosess (World Economic Forum/McKinsey, 2020)



3.8.3 Biokjemiske verdikjeder

Figur 17 viser en estimert produksjonskostnad på 19-28 kroner per liter for Alcohol-to-jet, og viser inndeling i kostnadselementer for en ATJ-prosess basert på sukkerrør. Hoveddelen av kostnadene kommer i raffineringssteget fra etanol til flydrivstoff. Investeringskostnader og driftskostnader forventes å reduseres de neste årene. Det er stor variasjon i kostnader for råstoff, og de kan være betydelig høyere enn vist her. Konkurranse om råstoff fra kjemisk industri kan være en utfordring. I Norge og Norden kan alkoholer produseres fra skogsråvarer, som demonstrert av Borregaard med 20 mil. liter produksjon etanol per år. For andre biokjemiske prosesser for bærekraftig flydrivstoff ligger produksjonskostnadene på 11-14 kroner per liter for SIP, mens DSHC har høyest kostnad på 37-49 kroner per liter.

Figur 17 – Inndeling og utvikling av produksjonskostnad for en ATJ-prosess (World Economic Forum/McKinsey, 2020)



3.8.4 Co-prosessering

For co-prosessering er det få studier og publikasjoner som presenterer kostnader. For co-prosessering i et eksisterende raffineri er det råvarekostnaden og tilpasning av pre-prosesseringstrinn i stor skala, som er den store kostnaden. Det kreves noen ekstra investeringer for å håndtere bioråoljen, men da kun 5% er godkjent vil investeringene normalt utgjøre en liten investering i forhold til det eksisterende raffineriet. Likevel, bør preprosessering av bioråoljen ha bygges i stor skala for å få en god lønnsomhet. Anlegget har dessuten allerede gjort investeringer for storskala produksjon, og i stor grad nedskrevet investeringene.

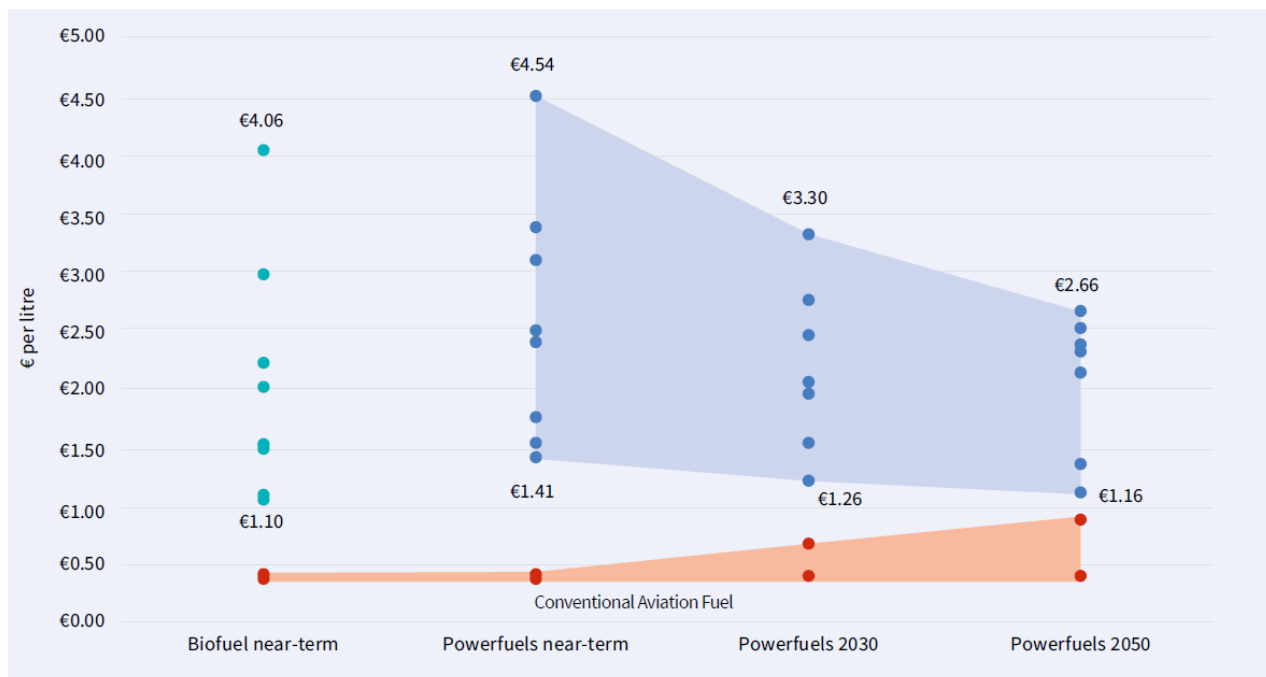
Råstoff sertifisert for co-prosessering er begrenset til oljer og fett. Dette innebærer at produksjonskostnadene kan være på nivå med HEFA, men det avhenger sterkt av type anlegg og hvilken bioråolje som skal co-prosesseres. Co-prosessering anses som en nøkkelstrategi for å oppgradere biooljer ved for eksempel pyrolyse fordi kostnadene reduseres betraktelig når eksisterende raffinerier kan brukes (SOU, 2019). Pyrolyseoljer kan produseres fra jord- og skogbruksrester og husholdnings avfall. Pyrolyseoljer kan både være et råstoff med en lav kostnad for transport da det har en høy energitetthet, og kan bidra til kostnadsreduksjoner hvis kvaliteter for pyrolyseoljene standardiseres.

3.8.5 Elektrofuels

Det anslås at kostnadene for efuels til fly i dag er 5-12 ganger høyere enn produksjonskostnadene til fossile flydrivstoff. Variasjonen og usikkerheten er stor på grunn av forskjell mellom teknologier og variasjoner i kraftpris, da kraftkostnad utgjør en betydelig andel av produksjonskostnaden for efuels.

Efuels har et potensiale for kostnadsreduksjoner de neste årene. Hovedårsaken er økt tilgang på fornybar strøm til lavere kostnad, i tillegg til synkende teknologikostnader som følge av rask teknologiutvikling av elektrolysører og skalaeffekter etter at pilotanlegg videreføres til storskala anlegg. Hastigheten for kostnadsreduksjoner avhenger i stor grad av hvor raskt kostnadene for produksjon av fornybar kraft og grønn hydrogen går ned (WEF, 2020). Med økt fornybar kraftproduksjon forventes kraftprisene å bli mer volatile, og det vil være lengre perioder med lave kraftpriser. Produksjonskostnader for efuels produsert med overskuddskraft forventes å kunne komme ned mot 10 kroner per liter og konkurrere med andre produksjonsprosesser for bærekraftig flydrivstoff. Hvor konkurransedyktig efuels vil være avhenger av kostnadene for biodrivstoff og om det slipper klimaavgiftene som konvensjonelt drivstoff er pålagt. Figur 18 viser estimerte produksjonskostnader for efuels og biobaserte flydrivstoff sammenlignet med konvensjonelt flydrivstoff basert på en samling av ulike studier.

Figur 18 – Estimerte produksjonskostnader for efuels sammenlignet med biobasert bærekraftig flydrivstoff og konvensjonelt flydrivstoff (DENA, 2019)



3.9 100% innblanding, vs. maks 50% og 10% i dag, og endrete krav

I februar 2021 ble det annonsert at sertifiseringsorganet ASTM i USA har etablert en arbeidsgruppe for å utrede muligheten for 100% innblanding av syntetiske drivstoff. En av hovedutfordringene for at kun 50% innblanding er tillatt, er kjemien i de syntetiske drivstoffene som kan påvirke pakninger og drivstoffsystemet, som kan forårsake lekkasjer. Dagens moderne motorer kan i hovedsak håndtere 100% innblanding, og det har vært gjennomført testflyvninger både sivilt og militært.

Flyvninger med 100% innblanding av bærekraftig flydrivstoff har begynt. Et samarbeid med Airbus, det tyske forskningssenteret DLR, Rolls-Royce og drivstoffprodusenten Neste har gått sammen for å starte prosjektet 'Emission and Climate Impact of Alternative Fuels' (ECLIF3) for å undersøke effekten av 100% SAF på flyutslipp og ytelse ([Neste](#)), som vist i Figur 19.

Fly- og motorprodusenter undersøker for tiden effekten av å øke blandingsgrensen til 100% for noen produksjonsprosesser. Hovedforskjellen i drivstoffsammensetning er mengden svovel og aromater som finnes i drivstoffet og viskositeten til drivstoffet. Mengden aromatiske forbindelser påvirker volumet og massen av pakninger i kontakt med drivstoffet. Dette kan løses ved å bruke en annen type pakning eller ved å tilsette tilsetningsstoffer i drivstoffet for å oppfylle visse kjemiske spesifikasjoner.

Figur 19 – Testflyvninger med 100% innblanding av bærekraftig flydrivstoff © [Airbus](#)



Ekspertene i bransjen forventer ikke store hindringer for å øke blandingsgrensene for at de nyeste motorene skal kjøre på helt syntetisk drivstoff, men dette er ennå ikke demonstrert. Bransjeeksperter fremhever at det også kan ha positive effekter på motorvedlikehold over levetiden, men ingen referanser kan gis ennå ettersom dette for tiden blir undersøkt.

En annen grunn til at 100% innblanding ikke er tillatt, er at noen syntetiske drivstoff har et høyere energiinnhold og høyere forbrenningstemperatur. Dette kan riktignok være en fordel når det tillates, da det innebærer en lengre rekkevidde eller redusert drivstoff-forbruk for samme distanse. Ulempen er at det er usikkert på hvordan det kan påvirke motorer og drivstoff-systemer. Dette må også testes i større grad for å ivareta sikkerheten ([ASTM WK76054](#)).

Det diskuteres også om kravene til drivstoffene kan endres noe, for å redusere kostnader og kompleksitet for raffinering av drivstoffene (ref. BETO). Et viktig spørsmål er dermed hvordan motorer utvikler seg og hvilke drivstoffegenskaper som er viktige. I dette scenariet kan et drivstoff fremdeles oppfylle gjeldende (eller kanskje lett modifiserte) ASTM-spesifikasjoner. En utfordring er bærekraftig flydrivstoff-er som varierer for mye i henhold til eksisterende krav om innlasting, kan kreve at eldre motorer og fly må bli re-sertifisert og delvis oppgradert.

3.10 Co-prosessering i eksisterende fossile raffinerier

Co-prosessering innebærer at biogene og fossile råstoffer blandes i eksisterende raffinerier for å produsere drivstoff. Vanligvis blandes biodrivstoff inn i ferdige petroleumsprodukter, mens i co-prosessering blandes delvis prosessert «bioråolje» inn i selve raffineringprosessen.

3.10.1 ASTM-godkjent co-prosessering

Foreløpig er co-prosessering for flydrivstoff ASTM-godkjent for 5% innblanding i fossile raffineringprosesser. Ved co-prosessering blir vegetabiliske oljer, spilloljer og fett behandlet sammen med konvensjonelle råoljematerialer i eksisterende raffinerier. Det er ikke i seg selv en prosess for bærekraftig flydrivstoff, men mer et resultat av godkjenningen av å blande inn en liten prosentandel vegetabiliske olje inn i et raffineri. Det er ikke beskrevet i et vedlegg

til D7566-spesifikasjonen. Det er derimot beskrevet at bruk av biogene oljer er mulig etter at spesifikasjonen for fossile flydrivstoff ble oppdatert (ASTM D1655).

ASTM Komiteen D02 for petroleumprodukter, flytende drivstoff og smøremidler, samt deres D02.J0 Underkomité for flydrivstoff, har godkjent co-prosessering av fornybart innhold med råoljeavledede mellomdestillater i petroleumssraffinerier. Dette inkluderer:

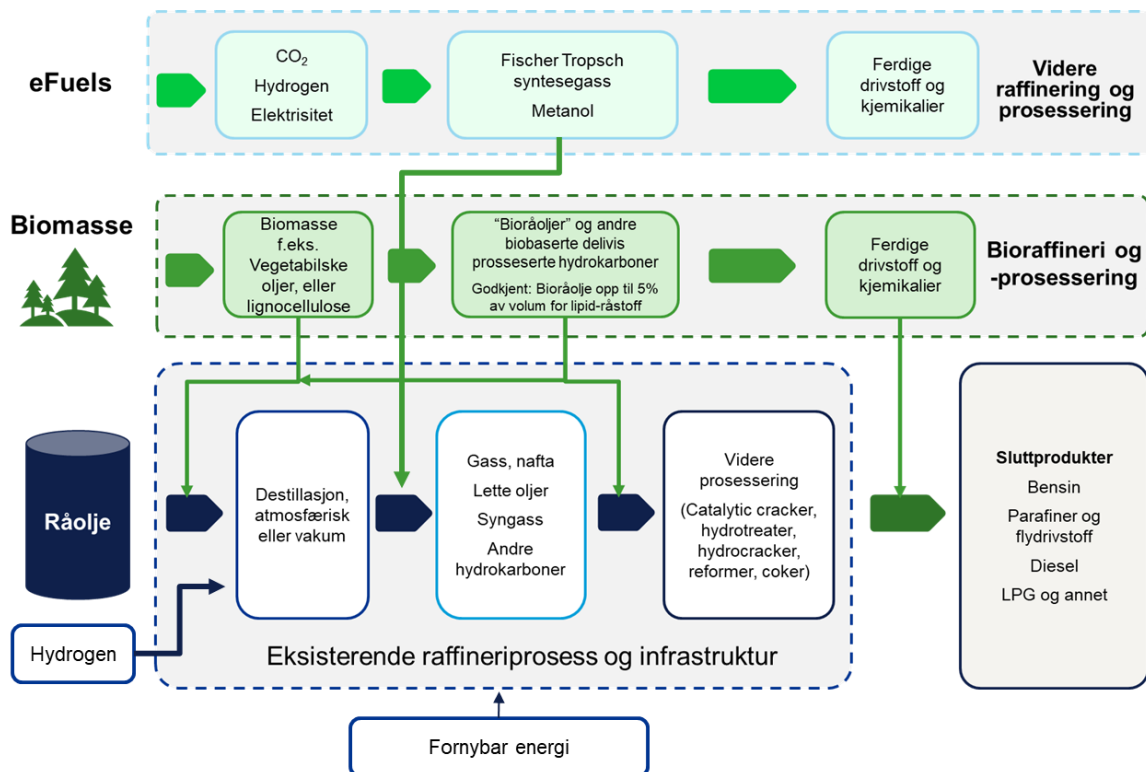
- Lipider (planteoljer og animalsk fett)
- Fischer Tropsch Biocrude (uraffinert hydrokarboninnhold som kommer fra en FT-reaktor)

3.10.2 Eksisterende raffinerier og infrastruktur

Flere pilotanlegg og etablerte aktører oppskalere innblanding av bioråoljer i deres fossile raffinerier. Dette kan være en kostnadseffektiv gradvis dekarbonisering av biodrivstoff hvor bruk av eksisterende raffinerier fører til en gradvis høyere og høyere klimaeffekt fra det drivstoffet som produseres. Både Preem og Shell er aktører som har pilotprosjekter som har startet opp. Raffinerier i Spania, Portugal, Sverige og Irland har volumer som co-prosesseres. Preem vil mest sannsynlig ta imot noe av de norske aktørene sine volumer for at det raffineres videre.

Bioråoljer som har blitt prosessert med co-prosessing kan transporteres og foredles videre i de etablerte verdikjedene for fossile kjemikalier. Alle fraksjoner av flydrivstoff som produseres av raffineriet håndteres videre som fossilt flydrivstoff. Figur 20 viser hvordan biomasse og efuels skjematiske kan være en del av konvensjonelle raffineriprosesser.

Figur 20 – Skjematiske oversikt over muligheter for co-prosessering for biomasse og efuels i eksisterende raffinerier (DNV, 2021)



Det finnes en rekke initiativer for co-prosessering i eksisterende raffinerier, men hovedsakelig lavere kvaliteter biodrivstoff, og ikke for luftfart. Bruk av pyrolyseolje, også kalt «bio-råolje» («biocrudes») i fossile raffinerier er i ferd med

å kommersialiseres, hvor drivstoff kan inneholde 2-5% biogene hydrokarboner. En aktør er UOP/Envergent. Det kreves mer utvikling for å få flere typer av bio-råolje til å kunne bli godkjent for co-prosessering til flydrivstoff. En hel ASTM-godkjenning-prosess er nødvendig (se vedlegg 9.6). I dag er det altså kun co-prosessering av fett, oljer og FT-prosess-rester som er godkjent for co-prosessering.

Fordelen med co-prosessering i eksisterende raffinerier er at man muliggjør gradvis innfasing av biodrivstoff uten å måtte bygge ny infrastruktur. Fordelen med bruk av eksisterende infrastruktur kan knyttes til følgende faktorer:

- **Samlokalisering og hydrogen:** bruk av hydrogen for hydrogenering kan best gjøres i større skala med enten lavkarbon blått hydrogen fra naturgass med karbonfangst, eller elektrolyse fra fornybar kraft. Det er allerede infrastruktur for hydrogen ved eksisterende raffinerier, og fornybar og lav-karbon hydrogen kan benytte den samme infrastrukturen. En samlokalisering av et preprosesseringsanlegg innenfor industriområdet vil også redusere kostnader i forhold til sikkerhetssoner, tillatelser og tilknytning til videre prosessering.
- **Bi-produkter fra bioråolje kan utnyttes bedre:** De fleste prosessene for bærekraftig flydrivstoff produserer også lettere og tyngre fraksjoner av hydrokarboner. Det er kritisk å få utnyttet alle ressursene. Disse kan enten oppgraderes med tilgang på rimelig energi, eller blandes inn i andre produktstrømmer for veitransport eller kjemikalier. Avsetningen av biproduktene kan gi gode inntekter og utnytte anleggene bedre.
- **Utnytte annen eksisterende infrastruktur:** Ved et raffineri kan lagringstanker utnyttes direkte eller bygges om, arealene kan også brukes for de nye biobaserte drivstoffene og kjemikaliene, infrastruktur for prosessenergi og kraft kan også utnyttes, infrastruktur for transport med rør, tog eller tungtransport kan også utnyttes.

Flere raffinerier produserer drivstoff gjennom co-prosessering i dag, og Barclays estimerer at kapasiteten for co-prosessering er på rundt 1 million tonn per år. Dersom all oljeraffineriene i USA og Europa hadde samprosessert med 1% fornybar råvare hadde det økt tilbudet fornybar diesel med 4 millioner tonn per år. Figur 21 viser noen av selskapene globalt som produserer fornybar diesel gjennom co-prosessering i eksisterende raffinerier. I Europa er det spesielt i Spania flere raffinerier som produserer diesel gjennom co-prosessering med brukt matolje.

Figur 21 - Noen av selskapene som produserer fornybar diesel gjennom co-prosessering i eksisterende raffinerier (Barclays, 2021)

Company	Capacity, Kton/a	Location
Repsol	350	Across refining portfolio in Spain
Preem	200	Refineries in Sweden
Cepsa	~150	San Roque refinery
BP	100^	Cherry Point refinery in the US
Galp	50	Sines Refinery
Conoco	50^	Whitegate refinery, Ireland
Saras	50	Sarroch refinery in Italy
OMV	50	Across refining portfolio
Total	~1,000^	

Source: Company data, Barclays Research estimates (^)

Figur 22 viser en oversikt over raffinerier i Norden og kapasiteten de har til å produsere flydrivstoff. Av disse er det kun Preem sitt raffineri som produserer fornybar diesel gjennom co-prosessering i dag, men de har ikke annonsert planer om å endre denne prosessen til å produsere flydrivstoff, sannsynligvis fordi dette er begrenset av ASTM-kravet på 5% innblanding. Disse oljeraffineriene vil kunne spille en viktig rolle for å utvikle verdikjeder for bærekraftig flydrivstoff, både gjennom co-prosessering og oppgradering av bioråolje.

Figur 22 – Petroleumsraffinerier i Norden og kapasitet for å produsere flydrivstoff (NISA, NIRAS, SDU, 2019)

Refineries in the Nordic countries	Jet fuel	Total capacity	Country
Fredericia Refinery (Shell)	100,000 ton	68,000 bpd	Denmark
Kalundborg Refinery (Equinor)	No	110,000 bpd	Denmark
Porvoo Refinery (Neste)	Yes	206,000 bpd	Finland
Naantali Refinery (Neste)	No	58,000 bpd	Finland
Slagen Refinery (ExxonMobil)	Yes	110,000 bpd	Norway
Mongstad Refinery (Equinor)	Yes	200,000 bpd	Norway
Göteborg Refinery (ST1)	No	78,000 bpd	Sweden
Nynäshamn Refinery (Nynas)	No	90,000 bpd	Sweden
Göteborg Refinery (Preem)	No	125,000 bpd	Sweden
Lysekil refinery (Preem)	No	220,000 bpd	Sweden

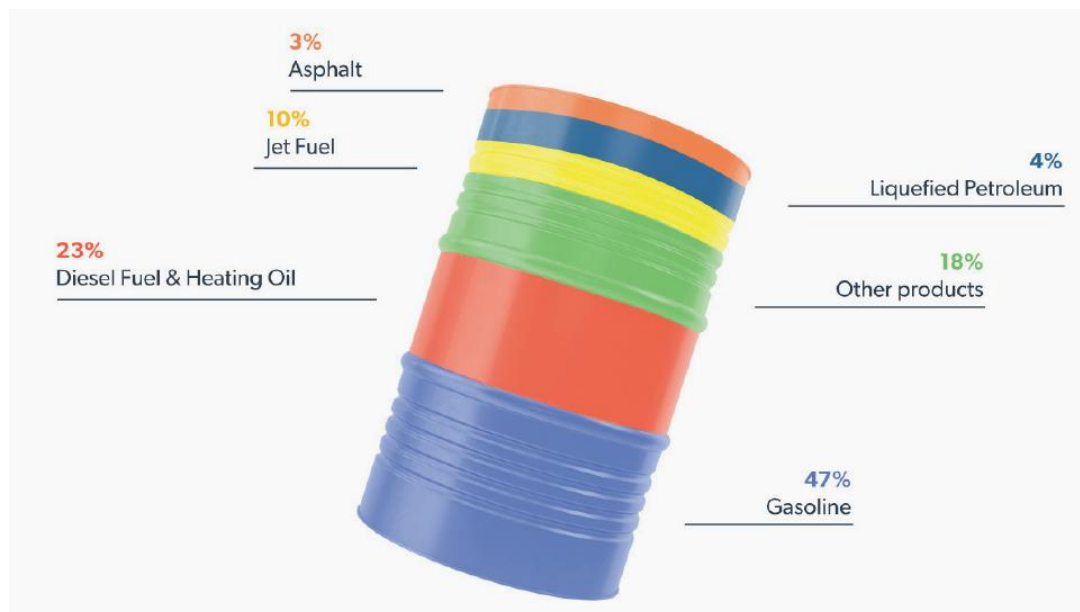
Bruk av eksisterende infrastruktur, eller co-prosessering med andre biodrivstoff-prosesser, kan være en kostnadseffektiv tilnærming for å redusere både investeringsbehov og driftskostnader for produksjon av bærekraftige biodrivstoff. Mye av prosessen for både biogene og fossile hydrokarboner er lik, men krever ulik pre-prosessering.

3.10.3 Andeler av bærekraftig flydrivstoff fra produksjonsprosesser

Produksjonsprosessene presentert i tidligere kapitler produserer et spekter av drivstofftyper, både parafiner for luftfart, og diesel for veitransport og maritimt bruk. Produksjonsanlegg kan i noen grad velge å optimalisere prosessen for forskjellige produkter innenfor teknologiske begrensninger og bruk av energi for å prosessere større andeler av lette drivstoff, som er relevant for flydrivstoff. Volumene av flydrivstoff (eng: «product slate») kan maksimeres til typisk 60% av produksjonen for noen type anlegg, hvis etterspørselen og betalingsvilligheten tilsier det i markedet. Dette gjelder enten det er et bioraffineri, eller et fossilt raffineri med co-prosessering hvor «bioråolje» eller «efuel råolje» blandes inn.

Figur 23 viser hvordan markedet for raffinerier i USA produserer ulike produkter, og er ikke knyttet til teknologiske begrensninger. For et stort marked som i USA prosesseres 10% av råolje til flydrivstoff. Raffinerier kan riktignok optimaliseres for mer flydrivstoff, men etterspørsel i markedet vil påvirke andelen av flydrivstoff og de andre produktene.

Figur 23 – Produkter fra råolje i USA ut i fra markedets etterspørsel (AA Jetfuel - well to wing) – ikke all råolje eller bioråolje og biomasse kan bli flydrivstoff



Figur 24 viser typiske verdier for hvordan anlegg i forhold til produksjonsprosesser kan tilpasse sin produksjon for store eller mindre andeler flydrivstoff.

Figur 24 – Muligheter for maksimal og minimale andeler av bærekraftig flydrivstoff fra raffinerier (A4E, ACI, ASD, era, canso, 2021)

Pathway	Jet % when optimized for other fuels output	Jet % when optimized for jet output
HEFA	14%	70%
FT (gasification & power to liquid)	20%	50%
Aerobic fermentation	0%	100%
AtJ catalysis	25%	90%
Pyrolysis (with catalytic upgrading)	20%	60%
HTL (with catalytic upgrading)	20%	60%
APR (with catalytic upgrading)	20%	60%

Noen utredninger henviser til at bioraffineriene trenger en jevn tilgang på biomasse av flere typer for å kunne være konkurransedyktige, og produsere mer avanserte drivstoff med lavere marginer. En faktor for biodrivstoff er hvordan flere typer råstoff kan utfylle hverandre med sesongbaserte variasjoner. Bioraffineriene trenger en råstoff-fleksibilitet for å kunne produsere hele året under full kapasitet.

4 ETTERSPORSEL OG PRODUKSJON AV BÆREKRAFTIG FLYDRIVSTOFF

Kapittel 4 inneholder en analyse av etterspørsel og produksjon av bærekraftig drivstoff. Dette er drevet fram av ambisiøse klimamål fra både industrien med flyselskaper, men også omsetnings- eller innblandingskrav fra nasjoner og regioner. Flyselskaper har også signert avtaler om forpliktende kjøp og bruk av bærekraftige drivstoff.

Kapittelet inneholder også en oversikt over anlegg og planer for fullskala produksjon i Norge, Norden, Europa, og overordnet globalt. Et større fokus har vært rettet mot USA da det er og har vært mye aktivitet for å etablere verdikjeder og produksjonsanlegg for bærekraftige flydrivstoff. Videre vises en oversikt over initiativer og prosjekter knyttet til forskning og teknologiutvikling, produksjon og produksjonsfasiliteter. Dette gir en oversikt over planer for produksjonsvolumer, omsetningskrav og forpliktet avtak for bransjen med hovedfokus på Norge, og mer overordnet for Norden og internasjonalt.

Hvor mye bærekraftig flydrivstoff som vil trengs og etterspørres avhenger også av teknologiutvikling for andre energibærere i fly, på kort-, mellom- og langdistanse, og da primært hydrogen og batterielektriske hybrid-fly. Batterielektriske vil mest sannsynlig ha en størst utbredelse blant kortdistanse-ruter da energitettheten til batterier er kun 2% av flydrivstoff (0,72 MJ/kg vs. 42 MJ/kg). Energitettheten til batterier forventes å øke noe, og flydesign forbedres, men vil fortsatt ha betydelig lavere rekkevidde.

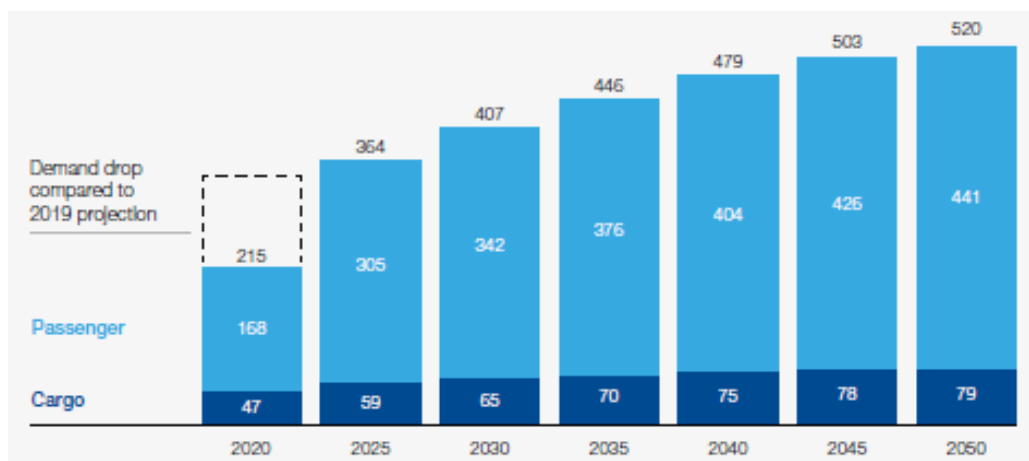
Produksjonen av bærekraftig flydrivstoff i verden i dag er svært begrenset, hovedsakelig på grunn av lav etterspørsel og tilgjengelighet som følge av høye produksjonskostnader sammenlignet med fossilt flydrivstoff.

4.1 Etterspørsel, innblandingskrav og forpliktet avtak

Global etterspørsel for flydrivstoff, selv etter corona, kan øke med mer enn 50% til 2050 sammenlignet med etterspørsel før koronapandemien. Volumet er vist i Figur 25 i millioner tonn flydrivstoff per år, ca. 500 mill. tonn (WEF2020, ATAG 2020). Et tonn tilsvarer ca. 1240 liter avhengig av energitetthet (energitetthet for Jet A-1 er 0,79 kg/liter).

I dag er andelen bærekraftig flydrivstoff av totalt forbruk til luftfart svært lav med mindre enn 0,05% av volumet. Dette skyldes blant annet høye produksjonskostnader og markedspriser sammenlignet med konvensjonelt drivstoff og mangelen på regulatoriske incentiver for å støtte økt innfasing av bærekraftig flydrivstoff. Det finnes i dag ingen internasjonale innblandingskrav for bærekraftig flydrivstoff, men flere land utvikler nå egne mandater for innblanding. Den største økningen i etterspørsel etter bærekraftig flydrivstoff og annet biodrivstoff er forventet å komme fra Europa og USA.

Figur 25 - Framskriving av global etterspørsel etter flydrivstoff (WEF, 2020)

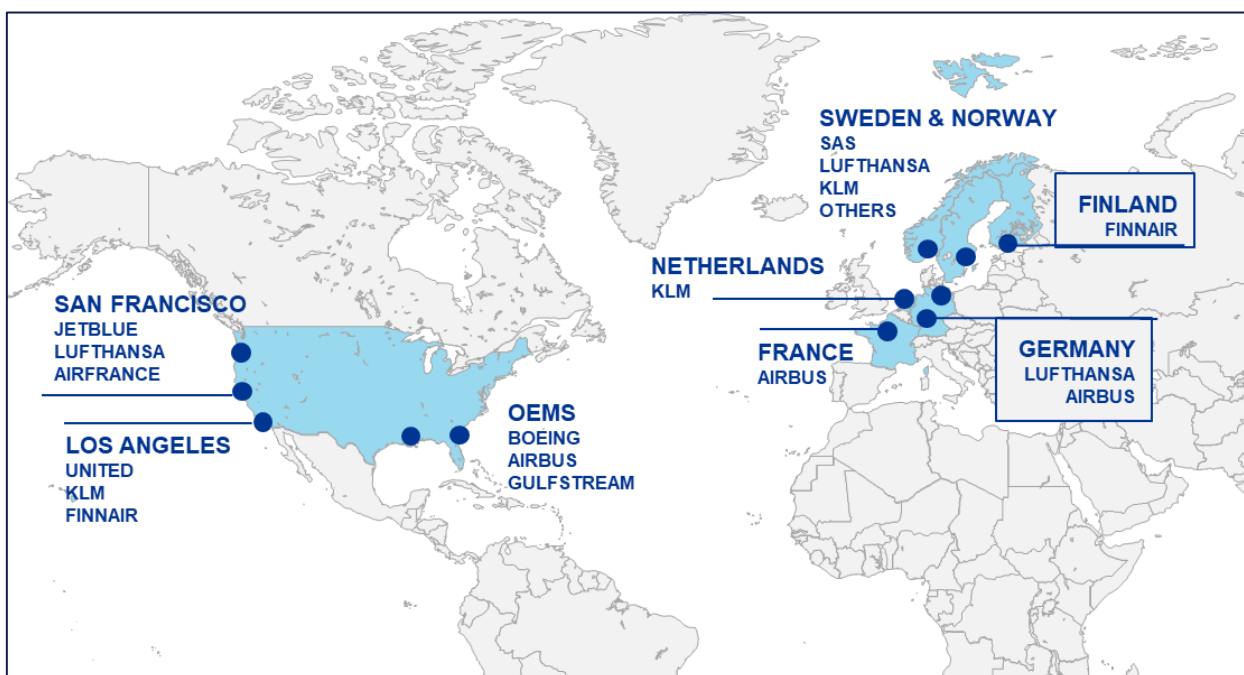


Den nåværende produksjonen og forventet oppskalering av biodrivstoff er langt unna det som må til for å oppfylle klimamål. Hovedårsakene til den langsomme utrulling er den store forskjellen i produksjonskostnader mellom konvensjonelt flydrivstoff og bærekraftig flydrivstoff. Utvikling av teknologimodenhet og oppskalering med etablering av storskala anlegg for konverteringsprosesser går heller ikke raskt nok.

Omsetnings- og innblandingskrav (eng: «blending mandates») kan øke etterspørsel og produksjon. En del produksjonskapasitet er planlagt for å begynne produksjon de neste fem årene, men det kreves betydelig mer for å oppnå selv noen få prosent klimaeffekt fra luftfartsbransjen. Dagens produksjon i EU må minst økes med 200 ganger for å kunne oppnå omtrent 10% av EUs drivstofforbruk for luftfart (WEF, 2020).

ICAO har en oversikt over omsetning av «kommersiell bærekraftig flydrivstoff», med initiativet [ICAO stocktaking](#). Kommersiell produksjon av biodrivstoff i EU er på ca. 35 millioner liter per år (~ 0,05% totalt EU-drivstofforbruk). Den installerte produksjonskapasiteten er betydelig høyere (ca. 2,5 millioner tonn, eller 3 milliarder liter), men for tiden prioriterer anleggene det meste av produksjonen av biodrivstoff til veisektoren (WEF policy 2020, [EU aviation refuel initiative](#)). Kommersiell bruk av biodrivstoff foregår hovedsakelig ved noen utvalgte flyplasser, som vist i Figur 26 under for HEFA.

Figur 26 - Kommersiell produksjon og bruk – primært HEFA (Neste 2021)

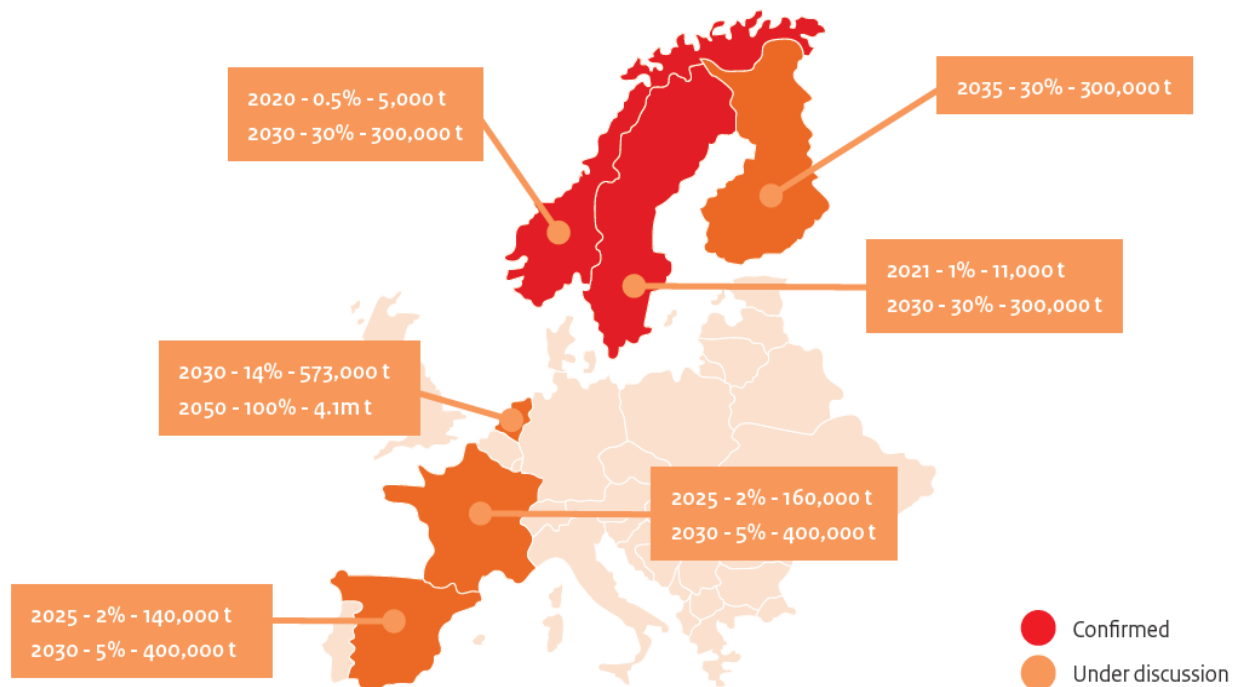


4.1.1 Etterspørsel Norge, Norden og Europa

Foreløpig er det bare Norge som har iverksatt innblandingskrav for bærekraftig flydrivstoff, hvor det Sverige skal tre i kraft fra 1. juli 2021. I Norge er foreløpig kravet på 0,5% avansert biodrivstoff, som har en målsetning om å øke til 30% i 2030. I Sverige skal andelen gradvis økes fra 1% i 2021 til 27-30% i 2030. Figur 27 viser en oversikt over annonserte og implementerte innblandingskrav for bærekraftig flydrivstoff i Europa, og hva det tilsvarer i volumer.

Fra 2020 er det innført et krav om 0,5 prosent avansert biodrivstoff som andel av alt flydrivstoff som omsettes i Norge (med unntak av Forsvaret). Norge er første land i verden med et slikt krav. Stortinget har vedtatt en målsetning om at 30 prosent av flydrivstoffet som omsettes i Norge i 2030 skal være avansert biodrivstoff (Avinor, 2020).

Figur 27 – Oversikt over annonserte og implementerte bærekraftig flydrivstoff-innblandingskrav i EU (WDB, 2021).



EU-kommisjonen har kommet med forslag til innblandingskrav for bærekraftig flydrivstoff i EU, men dette er ikke endelig vedtatt. Tabell 2 viser mulig bærekraftig flydrivstoff-innblanding i EU basert på 2030 Climate Target Plan, delt inn i avansert biodrivstoff og efuels (European Commission, 2020). Tyskland har foreslått egne innblandingskrav for efuels til luftfart på 0.5% i 2026 og 2% i 2030.

Tabell 2 – Mulig bærekraftig flydrivstoff-innblanding i EU mot 2050. (E4Tech, Ricardo, 2020)

Shares in the fuel mix (in %)	2025	2030	2035	2040	2045	2050
SAF ramp up out of which:	2	5	20	32	38	63
Sub-mandate - advanced biofuel (incl. waste lipids)	2	4.3	15	24	27	35
Sub-mandate – green synthetic fuels	-	0.7	5	8	11	28

Europeisk produksjon av bærekraftig flydrivstoff kan sannsynligvis nå mellom 1,5 og 7 millioner tonn per år innen 2030 - som tilsvarer mellom 2% og 10% av det totale europeiske flydrivstoff-forbruket før COVID-19. Sterk politisk støtte vil være nødvendig for å nå de høyeste anslagene (WEF, 2020).

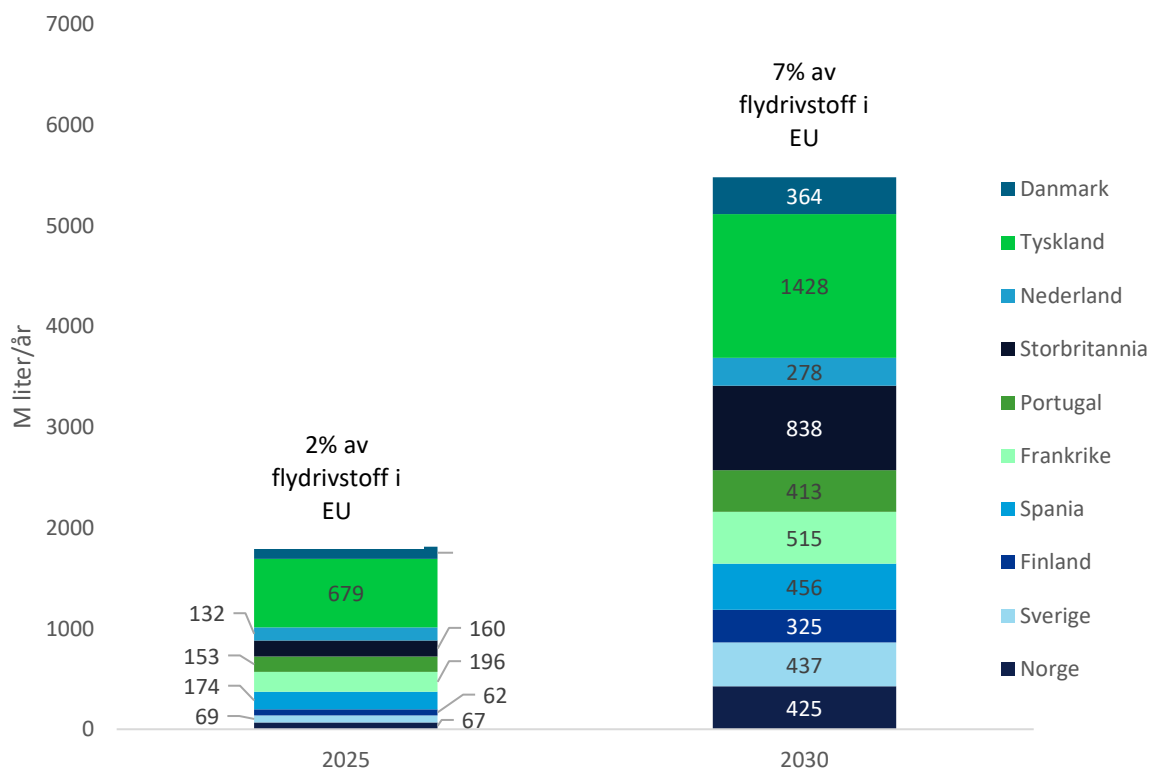
Tilgjengeligheten av bærekraftig flydrivstoff i Europa innen 2030 vil være sterkt avhengig av:

- Tilgjengeligheten av bærekraftig biomasse med lav indirekte arealbruksendringer (ILUC) og etablering samt effektiv håndheving av strenge bærekraftskriterier.

- Tilgjengeligheten av spilloljer og fettråvarer for bærekraftig flydrivstoff-produksjon via HEFA-prosesser, noe som kan forbedres med politiske insentiver for avfallsinnsamling.
- Den teknologiske modenheten og hastigheten på utvikling av prosesser for å håndtere lignocellulose og bioavfall, samt elektrofuels som kan utvikles raskere med FoU-støtte.
- Omfanget av import, gitt at biomassen kontrolleres og at det vil være importforbud fra regioner med lave miljøstandarder.
- Nivået av hvorvidt eksisterende og ny produksjonskapasitet av bærekraftige biodrivstoff prioriteres for luftfart i forhold til veitransport. Dette avhenger igjen av en sammenhengende politikkutvikling i Europa som legger vekt på mer effektive klimatiltak for veitransport som batterielektrisk og hydrogen-kjøretøy, som vil frigjøre råstoff for lavkarbon biodrivstoff for bærekraftig flydrivstoff.

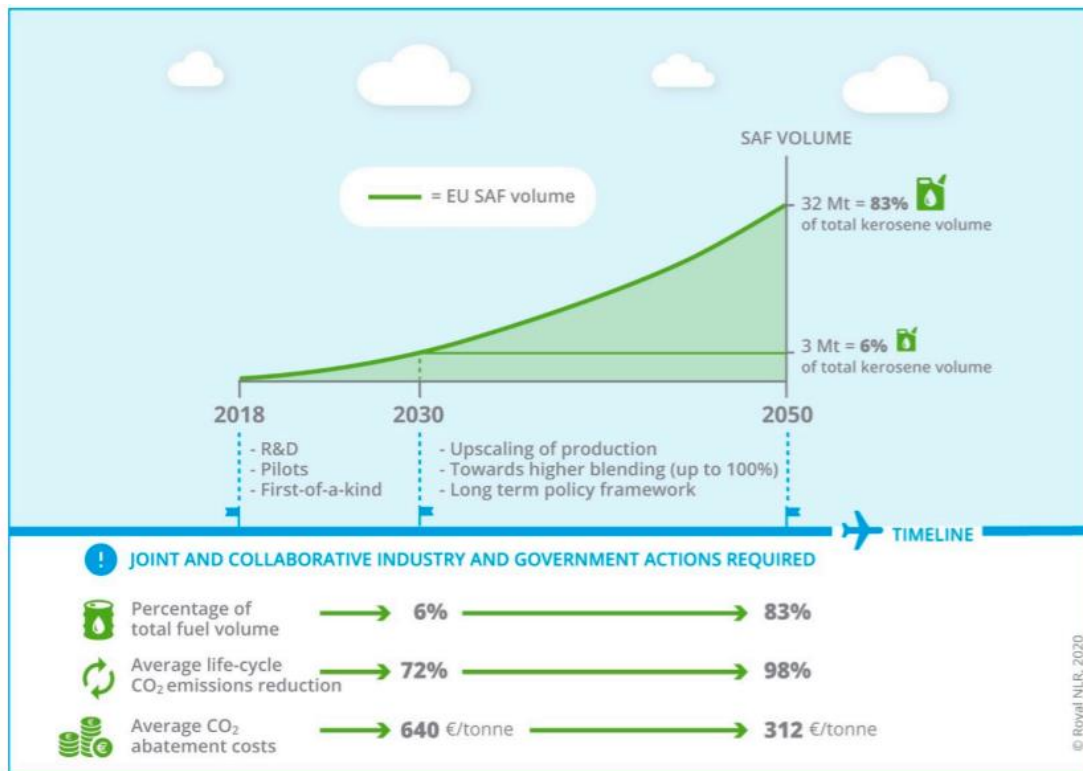
Figur 28 viser forventet etterspørsel etter bærekraftig flydrivstoff i Europa i 2025 og 2030, basert på annonserte planer fra de ulike landene.

Figur 28 – Etterspørsel etter bærekraftig flydrivstoff i Europa mot 2030 (EASA, 2019), (Regjeringens klimapartnerskaber, 2020), (DNV 2021).



Rapporten «Destination 2050» fremskriver også mulige bærekraftig flydrivstoff-volumer i EU mot 2050, vist i Figur 29, Tabell 3 og Tabell 4. Volumene i 2030 er regnet ut basert på annonserte produksjonsfasiliteter, nasjonale innblandingsforpliktelser og estimert tilgjengelig grønn hydrogen, og er på samme nivå som i Figur 28, rundt 3 millioner tonn eller 4 milliarder liter. Videre viser Figur 29 at bærekraftig flydrivstoff kan stå for 83% av totalt flydrivstoff i EU i 2050 som ikke kan dekkes av andre teknologier eller virkemidler, altså 32 millioner tonn eller 40 milliarder liter.

Figur 29 – Potensial for volum av bærekraftig flydrivstoff i EU mot 2050 (A4E, ACI, ASD, era, canso, 2021).



Tabell 3 – Estimer for bærekraftig flydrivstoff i 2030 fra Destination 2050 (A4E, ACI, ASD, era, canso, 2021)

Pathway and feedstocks	SAF amount	Percentage of SAF fuel mix	Life-cycle CO ₂ saving	Minimum selling price (€/tonne)	CO ₂ abatement costs (€/tonne) ¹³⁴
HEFA pathways with various waste and residue feedstocks	1.4 Mt	44%	65%	1170	280
Advanced feedstocks combined with FT, ATJ, SIP	0.6 Mt	19%	65%	2765	1050
Power to Liquid FT	1.2 Mt	37%	85%	2900	860
Total / average	3.2 Mt	100%	72%	2274	640

Tabell 4 - Estimer for bærekraftig flydrivstoff i 2050 fra Destination 2050 (A4E, ACI, ASD, era, canso, 2021)

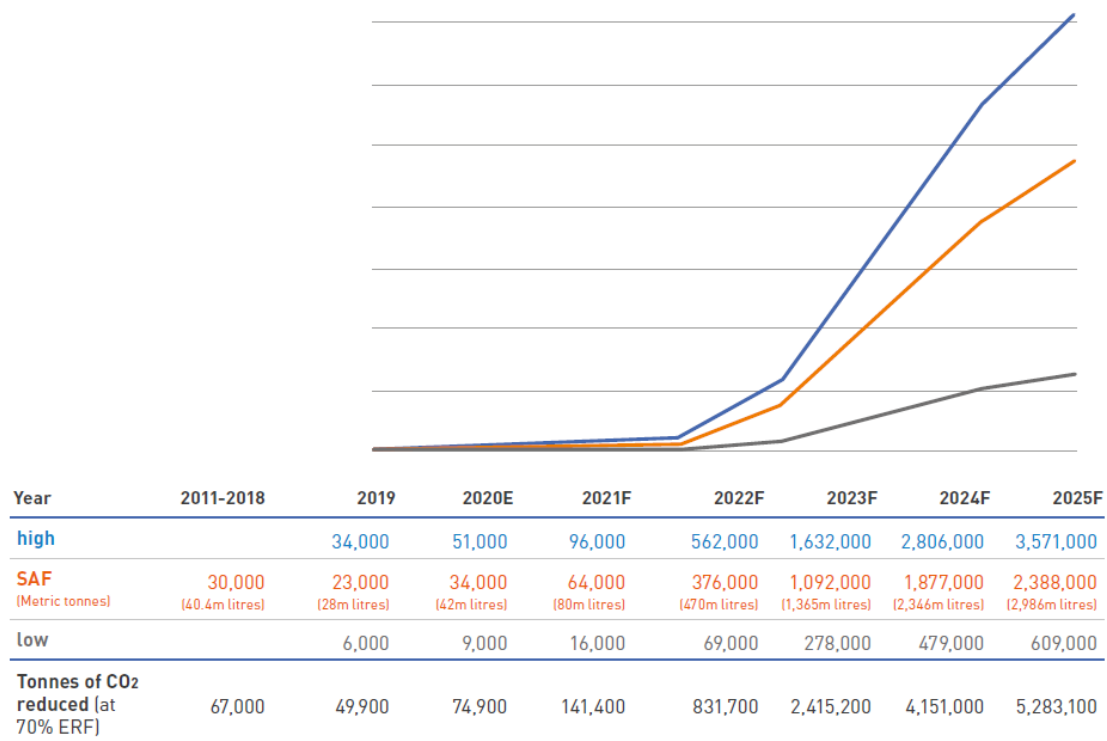
Fuel type	Amount	Percentage of fuel mix	Average minimum selling price (€/tonne)	Average life-cycle CO ₂ reductions	Average CO ₂ abatement costs (€/tonne) ¹⁴⁰
Biofuel	13 Mt	34%	1790	95%	366
Power to liquid	19 Mt	49%	1557	100%	274
Fossil	6 Mt	17%	690	n/a	n/a
Total kerosene	38 Mt	100%	-	-	-
Total SAF	32 Mt	83%	-	-	-

4.1.2 Etterspørsel globalt

Etterspørselen globalt etter bærekraftig flydrivstoff, hvis det hadde vært kostnadseffektivt i forhold til fossilt, ville nok ha vært tilsvarende det totale volumet av fossilt på 300-400 mrd. liter per år. Flybransjen ønsker å benytte nullutslippsløsninger. Volumet av biodrivstoff er under 0,05% av dette. Ulike utredninger estimerer hva som kan være mulig å få til i mer eller mindre positive realistiske scenarier. Andre utredninger tilbakeskriver hva som er nødvendig for å nå klimamål. I tillegg til Europa og Norden er det flere initiativer for bærekraftig flydrivstoff, både i USA, Australia, Brasil, Canada og Midtøsten.

Figur 30 viser et estimat på hva som kan være mulig å produsere, med opp mot 3000 mill. liter innen 2030. Med tanke på at forpliktet volum er ca. 1300 mill. liter per år og totalt ca. 10.000 mill. liter de neste 10 årene, samt halvering av etterspørsel etter covid-19, er trolig det lavere scenariet mer sannsynlig.

Figur 30 – ATAG scenarier for produksjon av bærekraftig flydrivstoff (ATAG Waypoint 2050)



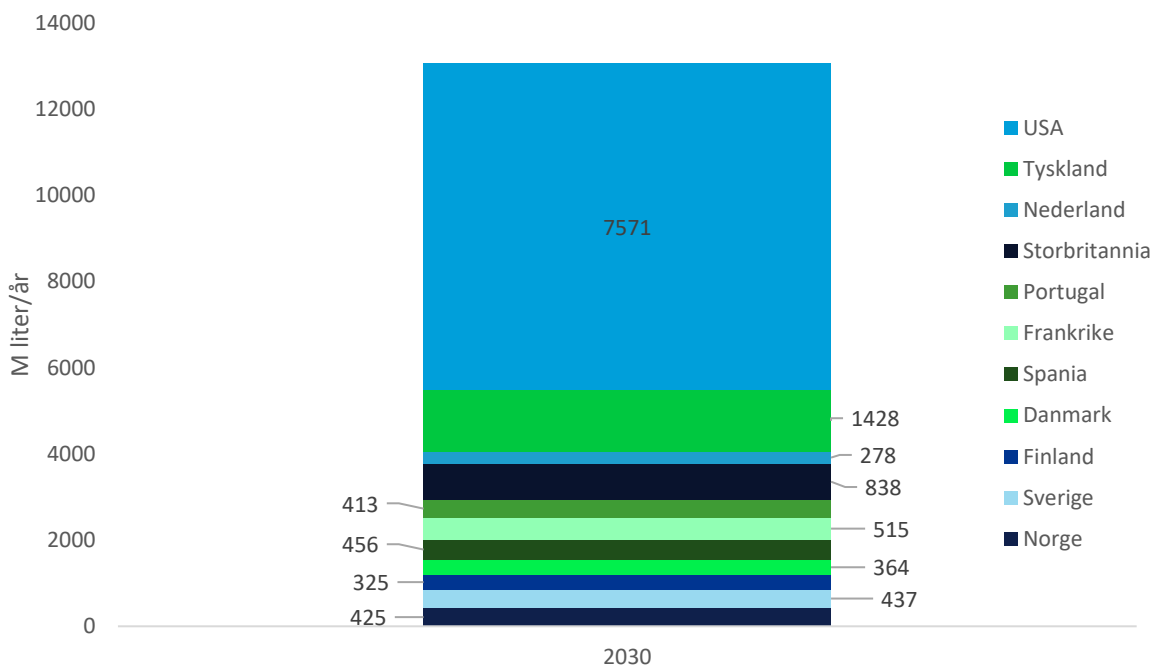
Hovedscenariet i Figur 30 viser hva som er annonsert volum som kan produseres. Det positive scenariet (high) viser hva volumet kan bli hvis de annonserte volumene maksimeres ved at raffineriene produserer maksimalt av flydrivstoff, og mindre av diesel og andre produkter.

I USA, et av de største markedene for flydrivstoff, er det kommersielle markedet for flydrivstoff estimert til å vokse fra 400 milliarder liter (106 milliarder gallons) til 870 milliarder liter (230 milliarder gallons) i 2050. Amerikanske flyselskaper har satt et mål om å redusere karbondioksidutslipp med 50% i 2050 sammenlignet med 2005-nivåer (Airlines for America 2020; IATA 2020).

Airlines for America (A4A), som er industriorganisasjonen for flybransjen i USA, annonserte nylig at deres medlemsselskaper har forpliktet seg til nullutslipp i 2050. Som en del av dette skal de jobbe på tvers av luftfartsindustrien og med myndighetene for rask utvikling innen produksjon og distribusjon av bærekraftig flydrivstoff, og skal gjøre 7,6 milliarder liter (2 milliarder gallons) bærekraftig flydrivstoff tilgjengelig for amerikanske flyselskaper innen 2030. (Airlines for America, 2021). Forpliktelsene til USA for å få til dette er blant annet stor skattelette for flydrivstoff,

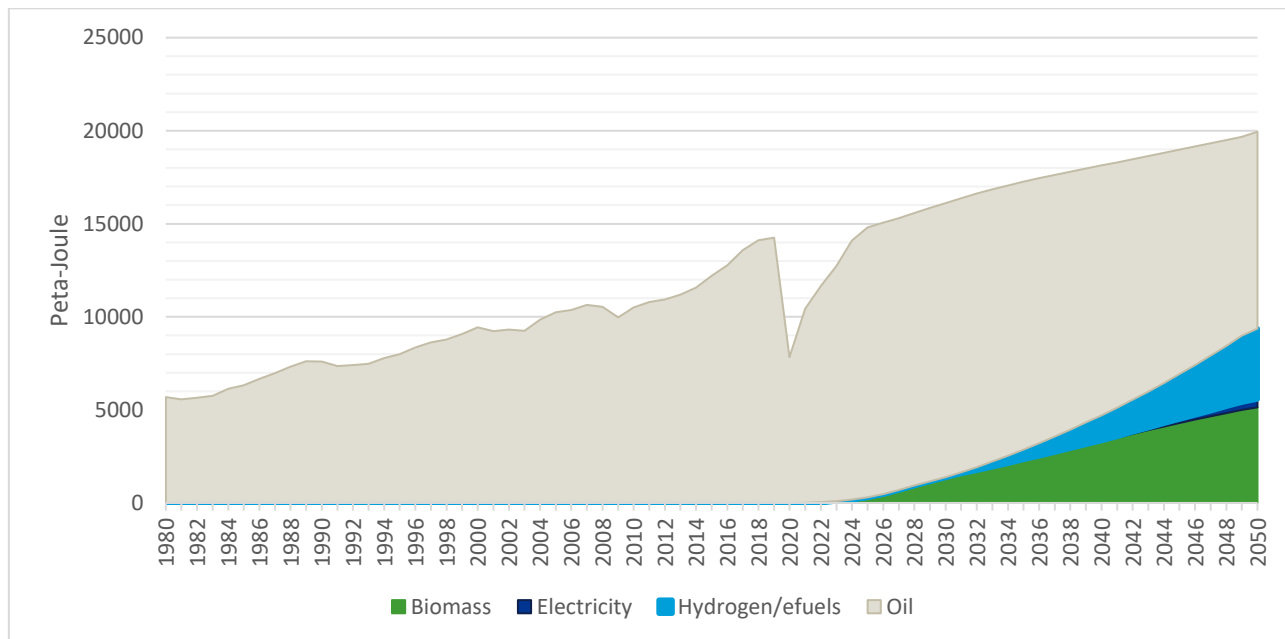
som kan bety opptil 4,4 kroner per liter (2 USD/gallon). Figur 31 viser et høyt scenarie for samlet forventet etterspørsel av bærekraftig flydrivstoff i 2030 i Europa og USA.

Figur 31 – Estimert global etterspørsel etter bærekraftig flydrivstoff i 2030 basert på annonserte volumer (DNV 2021)



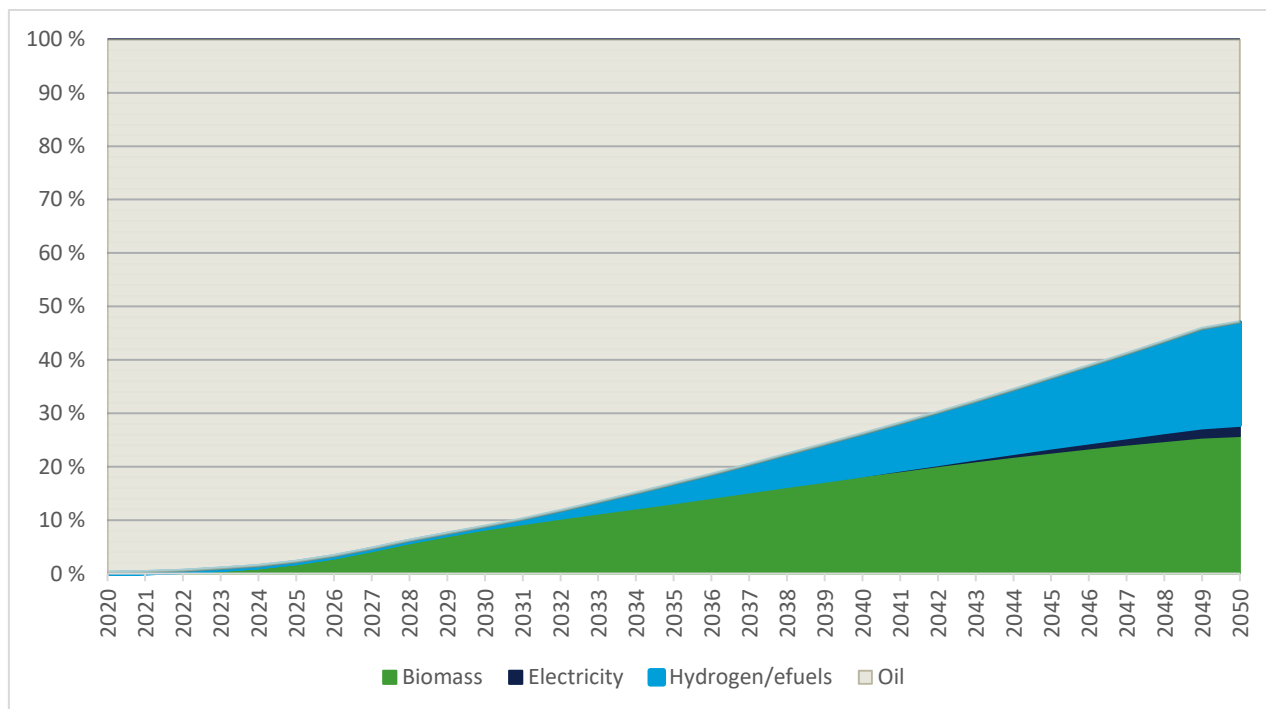
Framskrivningen under i Figur 32 viser en mulig videre utvikling av etterspørsel av flydrivstoff. Figur 32 viser en markant nedgang pga. covid-19, men det forventes at etterspørselen globalt vil være tilbake etter 4- 5 år. Modellen viser at bærekraftige flydrivstoff, i tillegg til elektrifisering av kortdistanse, vil kunne utgjøre om lag 50% av energibehovet globalt i 2050 (DNV 2021).

Figur 32 – Historisk forbruk og globalt forecast for energibruk for luftfart (DNV 2021)



I framskrivningene forventes det, uten ny politikk for akselerert utvikling, at biobaserte flydrivstoff oppskaleres fra 70 mill. liter i 2020, til 8800 mill. liter i 2025, 40 mrd. liter i 2030 og i underkant av 100 mrd. liter i 2040. Dette innebærer en andel på henholdsvis 0,03% i 2020, 2% i 2025, 9% i 2030, og 18 % i 2040⁶, som vist i Figur 33. Efuels og hydrogen forventes å øke fra meget små volumer før 2030, og til 7% innen 2040. Total andel bærekraftig flydrivstoff kan forventes å nå andeler på 26% i 2040 og 45% i 2050. Det er altså behov for virkemidler og støtte for å akselerere utviklingen og oppnå klimamål.

Figur 33 – Global forecast for energibruk til luftfart, andeler fra 2020 til 2050 (DNV 2021)

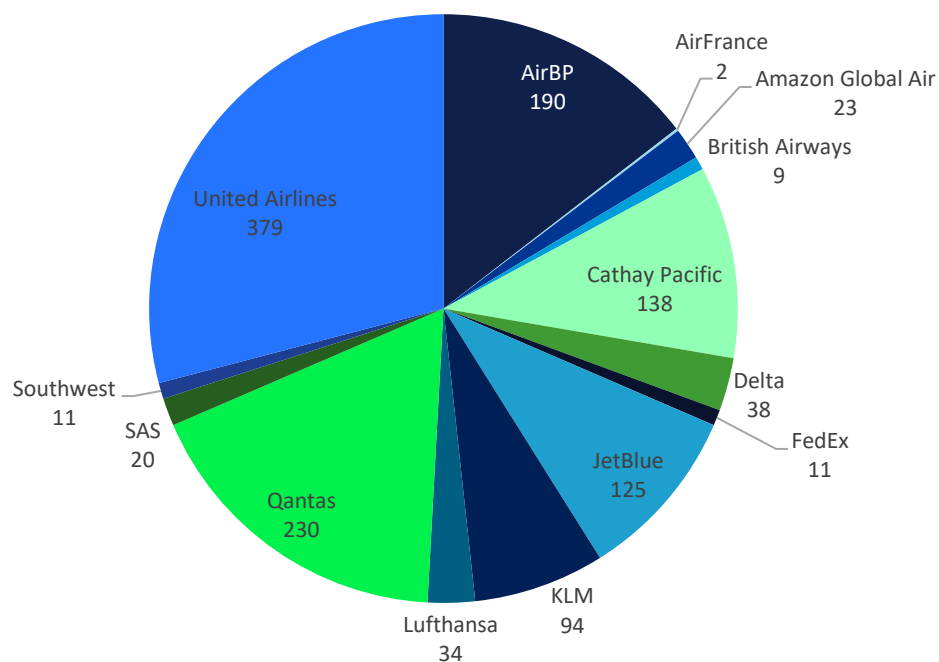


⁶ 14000 PJ som i 2018 innebærer ca. 400 mrd. liter. Verdiene for peta-joule til liter kan kovnerterers med å gange med ca. 30 for å få millioner liter.

4.1.3 Avtaler om kjøp av bærekraftig flydrivstoff-volumer

En rekke flyselskaper har inngått avtaler med produksjonsanlegg om kjøp av bærekraftig flydrivstoff. Figur 34 og Tabell 5 under viser hvilke aktører som bidrar til å nå et årlig mål på forbruk av bærekraftig flydrivstoff per år de neste 10 årene. Oversikten lister opp avtaler som er offentlig kjent i dag.

Figur 34 – Flyselskap med signerte avtaler om kjøp av bærekraftig flydrivstoff, totalt 1305 millioner liter/år



Tabell 5 – Signerte avtaler om kjøp av bærekraftig flydrivstoff-volumer (ICAO GFAAF, 2021), offentlige kunngjøringer

Produsent	Kjøper	Liter/år	Første leveranse	Varighet på avtalen (år)
Altalto (Velocys)	British Airways	N/A	N/A	N/A
Fulcrum Bioenergy	AirBP	190	2019	10
	Cathay Pacific	138	2020	10
	Japan Airlines	N/A	N/A	N/A
	United Airlines	341	2019	10
Gevo	Delta	38	2023	7
	Lufthansa	30	N/A	5
	SAS	20	2024	N/A
LanzaJet (LanzaTech)	ANA	N/A	2022	N/A
	British Airways	9	2022	N/A
Neste	KLM	N/A	N/A	N/A
Preem	SAS	N/A	N/A	N/A
Quantafuel	Avinor	N/A	N/A	N/A
Red Rock Biofuels	FedEx	11	2017	8
	Southwest	11	2017	8
bærekraftig flydrivstoff+ consortium	Air Transat	N/A	N/A	N/A
SG Preston	JetBlue	125	2019	10
	Qantas	30	2020	10
SkyNRG	KLM	94	2022	10
World Energy	AirFrance	2	2020	1.33
	Amazon Global Air	23	2021	1
	ANA	N/A	2020	N/A
	Lufthansa	4	2020	1
	Qantas	200	2020	N/A
	United Airlines	38	2020	2
Totalt		1305		

4.2 Initiativer, prosjekter, anlegg og produksjonsvolum

I dette kapitlet beskrives noen av de viktigste prosjektene for produksjon av bærekraftig flydrivstoff, med hovedfokus på Norge og Norden.

Europa og Norden har flere initiativer for bærekraftig flydrivstoff, men de fleste prosjektene har de siste årene vært i USA. USA har over flere år utviklet verdikjeder og produksjonsanlegg for biodrivstoff, og har dermed en strategisk fordel i forhold til andre land når det gjelder bærekraftig flydrivstoff. USA har flest selskaper og demonstrasjonsanlegg for produksjon av bærekraftig flydrivstoff. Standarden som brukes for godkjenning av nye drivstoff er basert på kompetanse og godkjenningsekspertiser med tilhørende forskermiljøer i USA. Tiden og kostnadene for å bringe et nytt drivstoff til markedet må ta høyde for tiden og kostnadene for drivstoffsertifisering (normalt 4 år), og tiden og kostnadene det innebærer med pilot og demonstrasjonsanlegg (PNNL & NREL, 2020).

HEFA-basert biodrivstoff er det eneste produktet som er kommersielt tilgjengelig i dag og har vært brukt i over 95% av alle flyvninger med bærekraftig flydrivstoff til dags dato, som innebærer mellom 5-7 millioner liter per år i perioden 2016-2018 ([ICAO stocktaking](#)). Den finske produsenten av biodrivstoff for luftfart, Neste (nettside), anslår at HEFA kan dekke opp mot 10% av flydrivstoff 35 millioner tonn, dvs. 27 mrd. liter per år. Neste har planer for 800 mill. liter per år i Singapore for 2022, og 350 mill. liter per år i Rotterdam fra 2023.

4.2.1 Prosjekter i Norge og Norden

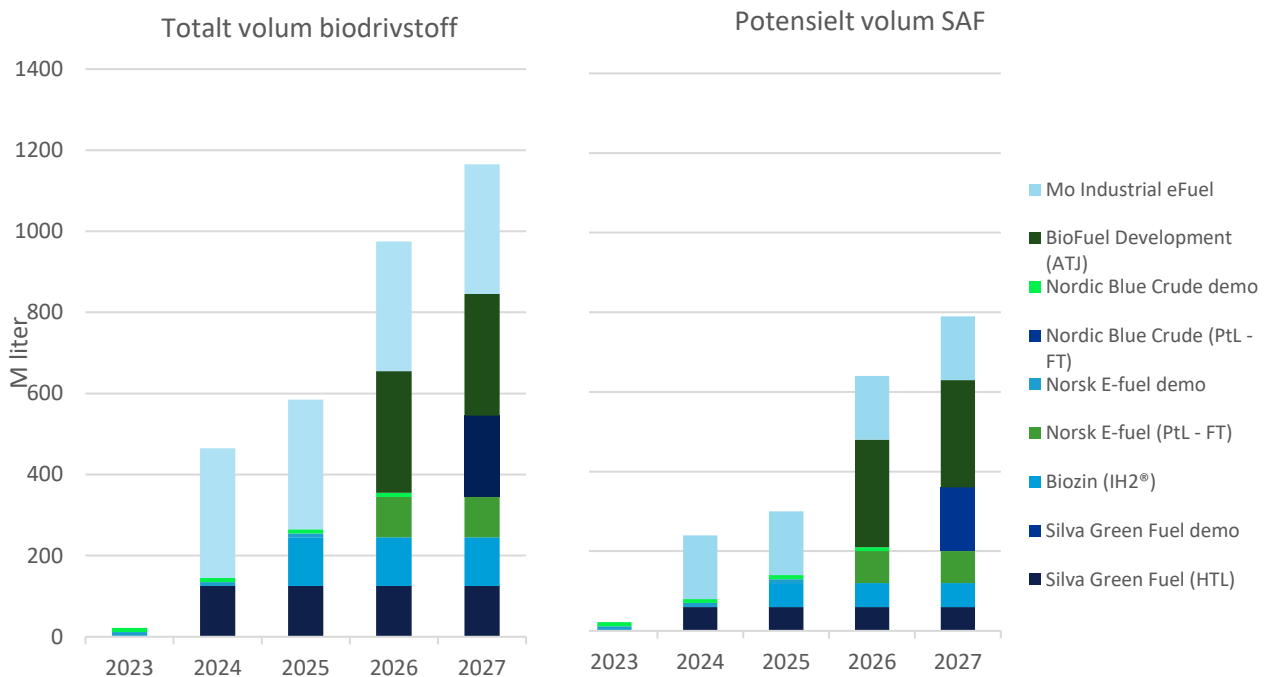
I Norge er det etablert flere initiativer for produksjon av biodrivstoff som kan føre mer enn 300 mill. liter bærekraftig flydrivstoff per år før 2030. Seks selskaper har annonsert konkrete planer for etablering av produksjonsanlegg i Norge de neste årene, hvorav tre anlegg for biobasert drivstoff og tre anlegg for efuels. DNV har vært i kontakt med disse selskapene for å innhente oppdatert informasjon til denne rapporten. En viktig presisering for efuels-anleggene er at det vil være begrenset biogent CO₂ eller fanget fra atmosfæren for pilotanleggene. Drivstoffproduksjonen kan på sikt ha en større klimaeffekt. Detaljerte LCA-beregninger er nødvendig for å vise klimaeffekten til alle de norske anleggene.

Det er flere fordeler som gjør Norge til en attraktiv lokasjon for produksjon av bærekraftig flydrivstoff. Her er det tilgang til lavere elektrisitetspriser, høy andel fornybar vann- og vindkraft med økende andel offshore vind. Norge har også mulighet for en produksjon av store mengder både grønn og blå hydrogen, samt økende kompetanse innenfor karbonfangst og lagring. Videre har Norge sidestrømmer av biomasse fra treforedling og massevirke som i dag eksporteres.

Figur 35 viser en oversikt over planlagte produksjonsanlegg i Norge, med årstall for start av full produksjon på den horisontale x-aksen og søyler som representerer visjoner om produksjonsvolum. Potensielt volum for bærekraftig flydrivstoff er hvor stor andel av totalt produksjonsvolum som kan gå til flydrivstoff dersom prosessen optimaliseres for dette. For prosesser hvor dette ikke er kjent er det gjort antagelser. Totalt mulig volum bærekraftig flydrivstoff fra de norske anleggene er estimert rundt 50 mill. liter i 2025 og 300 mill. liter i 2030 selv om de har visjoner eller teknisk mulig potensiale til 790 millioner liter/år. Dette er forutsatt at det ikke akselereres med mer investeringsstøtte og bedre rammebetingelser.

Tabell 6 presenterer nøkkelinformasjon for de ulike prosjektene. I de neste delkapitlene beskrives prosjektene mer i detalj.

Figur 35 - Oversikt over annonserte produksjonsanlegg bærekraftig flydrivstoff i Norge (DNV 2021)⁷



Hovedårsakene til at DNV overordnet har vurdert bærekraftig flydrivstoff-volumene til å være nærmere 50-100 mill. per år og ikke opp imot ambisiøse visjoner om 600 mill. liter per år, og at det først kommer tidligst gradvis i perioden 2027-2030, er som følger:

- Pilotanleggene skal testes og godkjennes fram til 2024 (Silva Greenfuel) og 2026 for de andre, før større demonstrasjonsanlegg eller fullskalaanlegg bygges og kan være klare nærmere 2030
- Andelen flydrivstoff blir sjelden høyere enn 70% for bioraffinerier, og det er lite trolig at anleggene optimaliseres for maksimalt utbytte av bærekraftig flydrivstoff. Det er heller trolig at de sprer risiko og fokuserer på mindre komplekse verdikjeder med direkte leveranser til biodiesel-avtakere uten å måtte raffinere til bærekraftig flydrivstoff.
- Teknologikvalifisering er tidskrevende, og krever at prosessene leverer volumer i henhold til spesifikasjoner over en viss tid, f.eks. i løpet av et år eller et visst antall timer. Hvis prosessen ikke er stabil og produserer ønsket volum og kvalitet vil det være nødvendig med en ny runde med testproduksjon.
- Det er en risiko at aktørene enten ikke har kompetanse eller finansielle midler til å iverksette godkjenningssprosessene for drop-in-kvalitet. Produsentene må enten få godkjent en ny prosess for luftfart, eller de kan være en del av allerede godkjente prosesser. Det er en risiko at det strekker ut i tid å få bærekraftig flydrivstoff fra anleggene, og at heller sektorer med mindre strenge krav vil få mesteparten av volumene.
- Godkjenningssprossen for bærekraftig flydrivstoff tar minst 4-5 år, ifølge ASTM D4054 Qualification Process. Det er ikke dokumentert at denne prosessen er begynt for anleggene hos ASTM. Hvis noe sendes til co-processing hos f.eks. Preem i Sverige kan noe av demonstrasjonsvolumene muligens bli godkjent raskere, eller en del av allerede godkjente prosesser.
- Efuel-anleggene forventes å bruke fossilt og ikke fornybar karbon fra CO₂, i en oppstartsfase da det er tilgjengelig, og på grunn av lave kostnader. De risikerer at klimaeffekten blir mindre enn 70% som er definert

⁷ Merk at TRL-nivået ikke er vurdert av en uavhengig part eller DNV, dette er nivåer aktørene selv mener de har.

ihht. fornybardirektivet og ICAO, for å kunne kvalifisere som bærekraftig innen klima. Det kan likevel komme noe flydrivstoff fra disse prosessene, som har et bedre klimafotavtrykk enn fossilt drivstoff.

Visjonene til anleggene, for 790 millioner liter per år, tilsvarer omtrent 60% av forbruk av flydrivstoff i Norge pre-corona. Hvor stor andel av produksjonen som faktisk kommer til å bli flydrivstoff er usikkert. Det er stor grunn til å anta at volumene vil være betydelig mindre, spesielt de første årene. Utfordringene aktørene har er om de får nok bærekraftig biomasse og CO₂ til en akseptabel kostnad. Et annet spørsmål er hvor lave kraftprisene vil bli i forhold til drivstoffpriser, og om det er lavkarbon hydrogen tilgjengelig. Lavkarbon hydrogen vil følge prisene på elektrisitet hvis det produseres med elektrolyse, i motsetning til om hydrogen blir produsert med fossil gass med karbonfangst. Til slutt er det avgjørende å se hvor mye som blir bærekraftig flydrivstoff, eller om produksjonen i stor grad går til biodrivstoff for tungtransport.

Når det gjelder teknologisk modenhet, angitt som TRL-nivå, er dette enten basert på informasjon oppgitt av selskapene selv eller tilgjengelig offentlig informasjon. Det kan være noe ulik tilnærming til TRL-skalaen, så dette må betraktes overordnet og ikke vurdert i detalj. Prosessene består gjerne av ulike undersystemer eller deler av verdikjeden med varierende TRL, som også er under stadig utvikling og forbedring. Det er vanskelig å plassere prosjektene på et konkret nivå, og i Tabell 6 er prosjektene forsøkt plassert på et nivå som skal representere hele prosessen.

Tabell 6 – Nøkkelinformasjon om produksjonsanleggene i Norge (DNV analyse 2021)

Prosjekt	Prosess	Totalt produksjonsvolum (mill. liter)	Potensiell andel til fly (mill. liter)	Ferdig-stillelse, planlagt	TRL	Sted	Partnere	Status
Silva Green Fuel	HTL	100-150	60	2022 (demo) 2024 (fullskala)	6 (4-9)	Tofte	Statkraft, Södra, Steeper Energy	Begynner testing av demo april 2021.
Biozin	IH2 ⁸	120	50-60	2026	6-8 ⁸	Åmli	Bergene Holm, Preem, Shell	Konsept-utvikling. Lokasjon på plass
Norsk E-fuel	PtL – FT (SOEC)	10 (demo) 100 (fullskala)	80	2023 (demo) 2026 (fullskala)	5 (4-9)	Herøya	Sunfire, Climeworks AG, Paul Wurth SA og Valinor	Planlegging, har sikret lokasjon.
Nordic electrofuel (Nordic Blue Crude)	PtL – FT (RWGS ⁹)	10 (demo) 200 (fullskala)	160	2023 (demo) 2027 (fullskala)	7 (6-9)	Herøya	Marquard & Bahls, Aker Solutions, NTNU, Eramet	I gang med basic engineering, skal begynne bygging av demoanlegg i Q4 2021.
BioFuel Development	ATJ	300	270	2026	8 (7-9)	Mongstad	Lanzatech	EPC-leverandør på plass
Mo Industrial e-fuels	PtL - ThyssenKrup	320	160	2024	9	Mo Industri-park	Elkem, ThyssenKrupp, Swiss Liquid	Mulighets-studie

Potensielt 790 millioner liter bærekraftig flydrivstoff, 400 millioner liter efuels og 390 millioner liter biodrivstoff. Produksjon i Norge innen 2027 kan bli 66% av totalt forbruk av flydrivstoff i Norge. Sannsynligvis vil volumene være mindre, 50-300 mill. liter.

⁸ Basert på en offentlig kilde fra 2018: IH2 Technology, CRI: https://www.svebio.se/app/uploads/2018/09/6.Alan_Del-Paggio.pdf

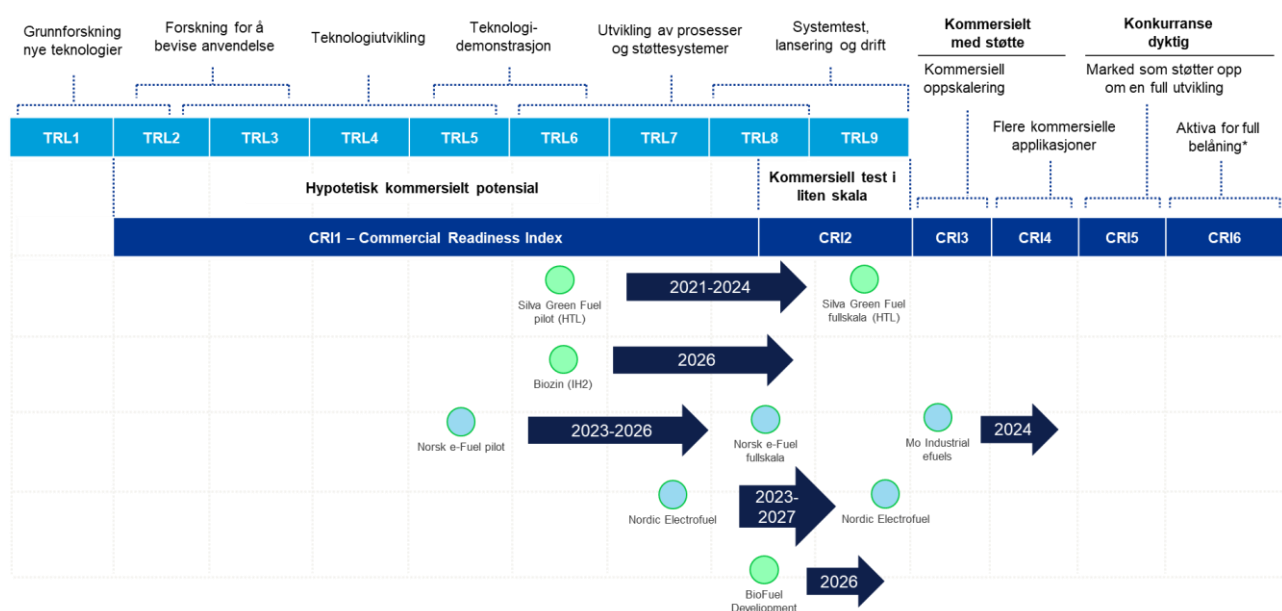
⁹ Reverse water gas shift

4.2.2 Biodrivstoff i Norge

Det finnes i skrivende stund flere prosjekter i Norge for etablering av norsk produksjon av biodrivstoff basert på blant annet sidestrømmer og restprodukter fra skogbruk. Felles for de fleste prosjektene er at de produserer et biobasert oljeprodukt, bioråolje («biocrude»), som skal selges videre til raffinerier for oppgradering til ulike drivstoff. Selv om produksjonen tilpasses drivstoff til luftfart vil kun en andel (50-90%) oppgraderes til bærekraftig flydrivstoff i raffineriene, resten raffineres til andre produkter.

Figur 36 viser planer og utvikling for anleggene fra pilotanlegg til kommersialisering. Spørsmålet er hvordan anleggene kan oppnå full kommersiell drift (CRI6). Utfordringene er hvorvidt de får de nok biomasse, og bærekraftig CO₂ for efuelsprodusentene, lav nok kraftpris, hvor stor andel bærekraftig flydrivstoff det blir i forhold til andre biodrivstoff, og tilstrekkelig lavkarbon hydrogen.

Figur 36 – Forventet utvikling av modenhet for de norske bio- og efuel-prosjektene de neste årene (DNV 2021)

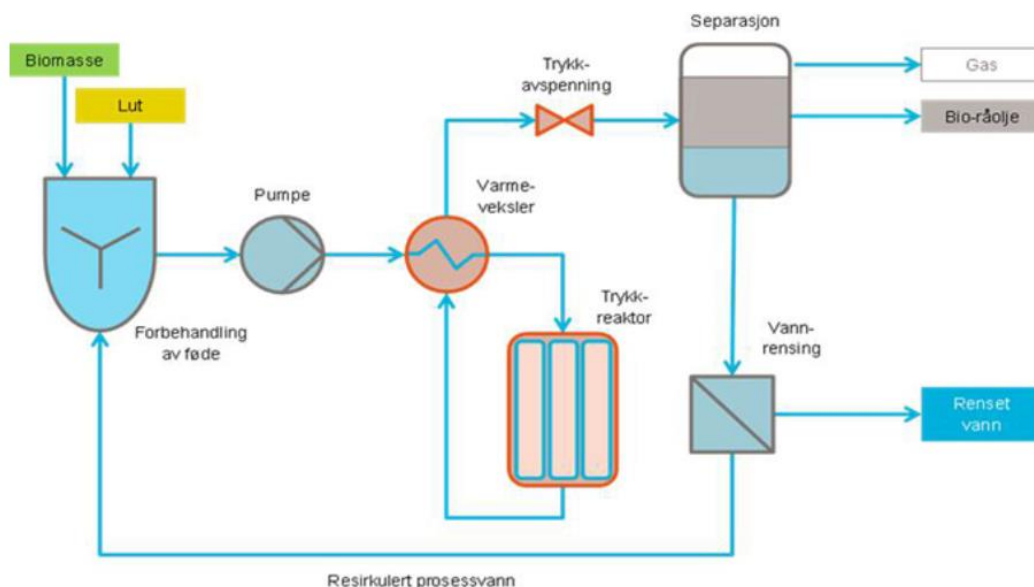


Silva Green Fuel ble opprettet av Statkraft og Södra i 2015, og har som hensikt å produsere avansert, andregenerasjons biodrivstoff på Tofte i Asker kommune basert på reststoffer fra skog. I første omgang bygges det et demonstrasjonsanlegg med kapasitet på 5000 liter om dagen som testes fra Q2 2021 og skal ferdigstilles i 2022. Silva Green Fuel har fått offentlig støtte til demoanlegget blant annet fra Enova.

Videre planlegges det et fullskalaanlegg på samme sted som vil være det største av sitt slag i verden og som kan stå klart ved utgangen av 2024 (Silva Green Fuel, 2021). Det planlegges også et fullskalaanlegg i Sverige som kan stå klart i midten av 2025. Begge disse anleggene vil ha en produksjonskapasitet på 100-150 millioner liter drivstoff. Det er tenkt at mesteparten av produksjonen skal gå til biodiesel, men andelen bærekraftig flydrivstoff kan økes.

Prosessløsningen som er valgt for å fremstille biodrivstoff på anlegget er hydrotermisk konvertering (HTL). HTL-teknologien er utviklet av og leveres av Steeper Energy. Fordeler med teknologien er at det ikke er behov for å tørke råstoffet, den kan bruke ulike typer biomasse og den gir høyt energiutbytte. Demoprojektet på Tofte vil teste denne produksjonsløsningen før eventuell kommersialisering og helkontinuerlig drift i industriell skala.

Figur 37 – Illustrasjon av HTL-teknologien til Silva Green Fuel (Silva Green Fuel, 2021)



Figur 37 illustrerer produksjonsprosessen med HTL-teknologi, som vil bestå av fire hovedelementer: Forbehandling av biomasse, konvertering til bioråolje, separasjon av prosessvann og olje og oppgradering av bioråoljen gjennom en raffineringsprosess med hydrogen. Selve konverteringen skjer ved at «grøtaktig» biomasse (slurry) trykkes opp og varmes opp gjennom en varmeveksler omdanning til bioråolje i trykkreaktorer. Raffineringsprosessen utvikles av en tredjepart, og Silva Green Fuel har pågående samtaler med raffinerier om kjøp av bioråolje. Produksjonsprosessen består av mange ulike komponenter med ulik teknologisk modenhet, fra TRL 4 til TRL 9. Ingen har satt sammen disse komponentene før, og prosessen som helhet ligger i dag omtrent på TRL 6.

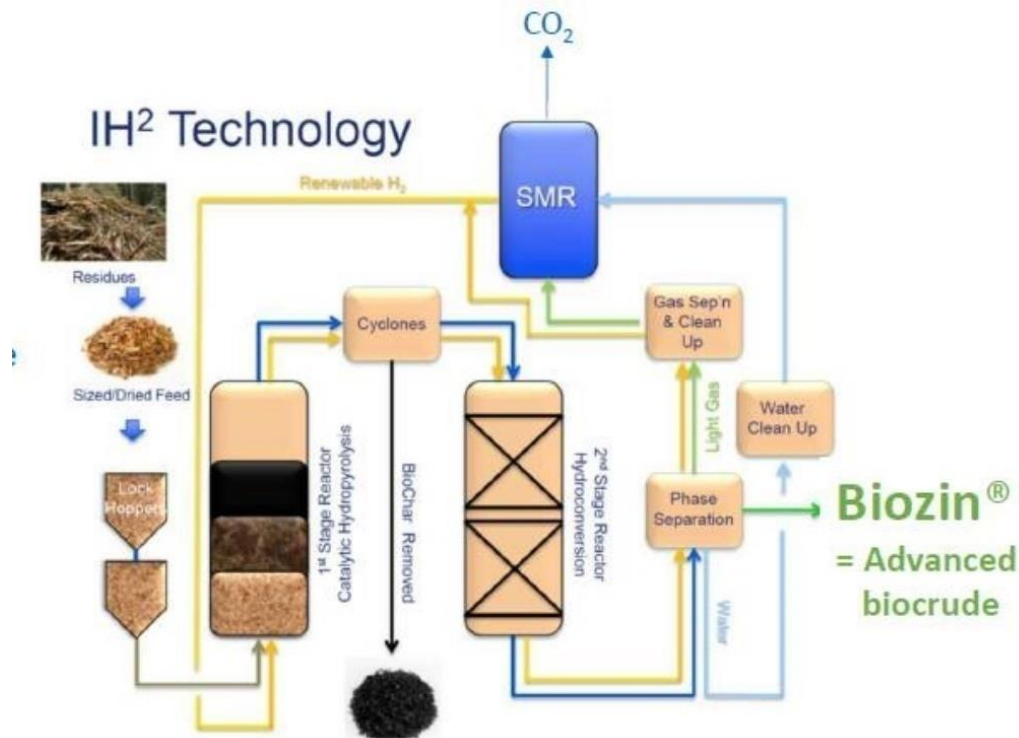
Beregninger av klimaeffekt indikerer at prosessen kan gi 80-85% reduksjon av CO₂-utslipp sammenlignet med fossilt drivstoff. Det er estimert at et storskala-anlegg vil gi flere hundre arbeidsplasser i byggefasen og 80-100 arbeidsplasser i drift.

Biozin Holding AS, eid av trelastprodusenten Bergene Holm AS og oljeselskapet Preem AB, skal produsere biodrivstoffet biozin, som er en 2. generasjons bioråolje basert på skogsråvare. Biozin planlegger et fullskala produksjonsanlegg på nabotomten til Bergene Holms sagbruk i Åmli, med ambisjon om at produksjonen skal være i gang i 2026. Årlig produksjon vil være på ca. 120 millioner liter av produktet «biozin» og 30 000 – 40 000 tonn biokarbon (Biozin, 2021). Produktet biozin er en bioråolje som skal selges til oljeraffinerier for videre prosessering til bærekraftig avansert biodrivstoff. Omtrent 40- 50% av biozin-volumet, ca. 50-60 millioner liter, vil kunne gå til flydrivstoff. På sikt planlegger Biozin flere produksjonsanlegg på denne størrelsen i Sør-Norge. De ser også på mulighetene for å levere overskuddsenergi varme til blant annet sagbruket på Nidarå.

Med Shell som teknologileverandør vil de benytte den nyutviklede IH₂-teknologien, illustrert i Figur 38. Shell har også bidratt med finansiell støtte til Biozin-prosjektet i Åmli. Den valgte teknologien er enda ikke kommersielt tilgjengelig. Shell har bygget et demoanlegg i Bangalore i India og arbeidet her er sentralt for den endelige verifikasjonen av teknologien. IH₂ baseres på en pyrolyseprosess som gir høyt energiutbytte, og hvor mesteparten av energiforbruket til produksjon er varmeenergi hentet fra råvarene. En viktig fordel med teknologien er at den er svært fleksibel med hensyn til både type og kvalitet på råstoffet, slik at all slags skogsråvare i teorien kan benyttes. Biozin, på lik linje som de fleste biodrivstoff-aktører med ressurser fra skogbruk, skal ikke benytte trevirke som er godt nok som råstoff til sagbrukene, det vil si at de ikke skal bruke sagtømmer. Prosessen forventes å redusere CO₂-utslipp med om lag 90% sammenlignet med fossilt drivstoff.

Biozin har blitt tildelt miljøteknologitilskudd fra Innovasjon Norge på 30 millioner kroner, og er i dialog med Enova. Det er estimert at anlegget vil skape om lag 70 arbeidsplasser i drift i tillegg til annen verdiskapning.

Figur 38 - Illustrasjon av produksjonsprosessen til Biozin og Shell (Biozin, 2021)



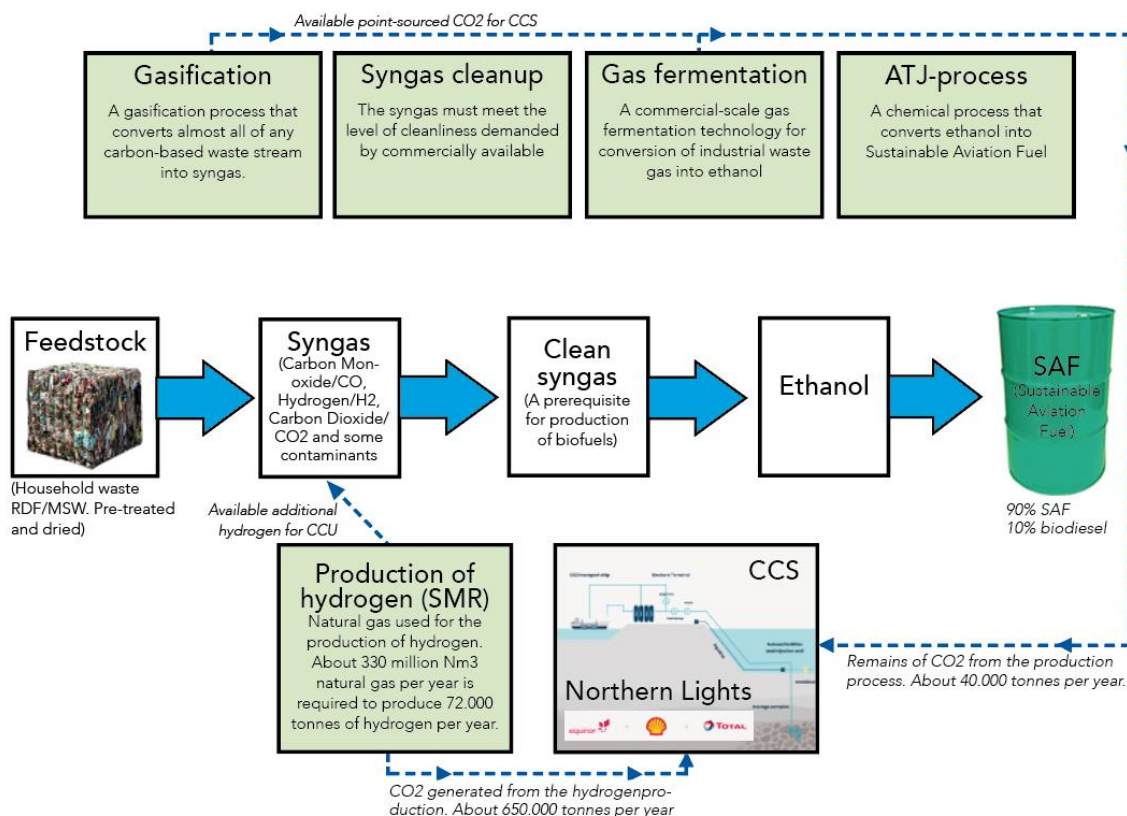
Biofuel Development planlegger å bygge et produksjonsanlegg basert på husholdningsavfall på Mongstad med navn *Project Green Sky Norway*. Det har blitt vurdert ulike prosessoppsett, men det jobbes nå med å få avdekket bærekraften på AtJ-SPK sporet. Det er det amerikanske selskapet LanzaTech som leverer gassfermenteringsteknologien og AtJ-teknologien. Produksjonen planlegges å starte i 2026, og vil ha en estimert produksjonskapasitet på ca. 500 millioner liter etanol, som kan bli til ca. 300 millioner liter biodrivstoff, hvor ca. 270 millioner liter kan ende opp med å bli bærekraftig flydrivstoff og resten biodiesel. Anlegget vil bruke ca. 2 000 tonn husholdningsavfall per dag (ca. 720 000 tonn per år), som skal importeres fra Storbritannia og andre steder innen EU. Planen er å begynne byggingen av anlegget i 2023.

Produksjonsprosessen til Biofuel Development er illustrert i Figur 39. Gassfermenteringsteknologien lisensiert av LanzaTech bruker en spesiell bakterie som konverterer syntesegass til bioetanol. En fordel med gassfermenteringsteknologien er at den er mer fleksibel med hensyn til renheten av syntesegassen som benyttes enn den mer konvensjonelle FT-teknologien. I tillegg kan sluttproduktet lett endres, dersom det er ønskelig, uten at komponentene i prosessoppsettet må skiftes. De ulike delene av produksjonsprosessen har TRL på 7-9.

Det vil være synergier med eksisterende industri på Mongstad og Biofuel Development. Biofuel Development har signert intensjonsavtaler med interessenter oppstrøms og nedstrøms. Equinor har signert en letter of intent (LOI) med intensjon om å inngå en off-take avtale med BioFuel Development på all etanol og bærekraftig flydrivstoff som blir produsert fra det planlagte anlegget. CO₂ fra produksjonsprosessen skal benyttes som råstoff sammen med syntesegassen som genereres gjennom gassifiseringen av husholdningsavfall. Både karbonfangst med lagring (CCS) og karbonfangst med bruk av karbonet (CCU) skal benyttes. Det er også planer om å tilføre ekstra hydrogen i prosessen for å maksimere produksjonen av flydrivstoff. Store mengder med fossilt hydrogen er allerede i dag tilgjengelig på Mongstad, hvor dette sannsynligvis kan produseres som blått hydrogen med et lavt karbonfotavtrykk. Forskningsinstituttet NORCE gjennomfører en studie hvor de ser på bærekraften for denne typen produksjon på Mongstad (Prosess21, 2020).

Husholdningsavfall er i mange tilfeller definert som 60% fornybart, men for hver enkel verdikjede varierer dette avhengig av sortering av fraksjoner hos husholdningene. I følge en gjennomført LCA-analyse vil bærekraftig flydrivstoff fra Project Green Sky Norway kunne ha en klimaeffekt på 90% forhold til bruk av fossilt drivstoff. Kravet i EU's fornybardirektiv (REDII) for denne typen produksjon av bærekraftig flydrivstoff er 65% reduksjon av klimagassutslipp i forhold til bruk av fossilt drivstoff. Det er estimert at produksjonsanlegget vil kunne skape opp mot 2000 arbeidsplasser under byggeperioden og 200 under drift.

Figur 39 – Illustrasjon av produksjonsprosessen til Biofuel Development (Biofuel Development, 2021)



Quantafuel AS har inngått en avtale med Avinor om levering av bærekraftig flydrivstoff basert på sidestrømmer fra norsk skogindustri. Det er planlagt at produksjonen skal baseres på en egenutviklet BtL (Biomass-to-Liquid)- teknologi (en forenklet Fischer-Tropsch-prosess). Pilotanlegget skal gi erfaringsgrunnlag for framtidige fullskalaanlegg, hvor foreløpig kapasitetsmål er 7-9 millioner liter biodrivstoff per år for et anlegg. Foreløpig har utviklingen av dette prosjektet blitt satt på vent på grunn av allokering av ressurser til utvikling og igangsetting av Quantafuels anlegg for syntetisk diesel fra plastikk i Skive i Danmark. Quantafuel planlegger økt aktivitetsnivå for biodrivstoffsatsningen i løpet av 2021. Quantafuel er også involvert i NTNU og SINTEF sitt forskningsprosjekt B2A (Biomass to Aviation Fuel), hvor bærekraftig flydrivstoff skal produseres gjennom en rask pyrolyseprosess.

Bio4Fuels er et forskningssenter med mål om å utvikle ny teknologi for produksjon av annengenerasjons biodrivstoff fra rester fra skognæringen i landbruket i Skandinavia. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) er vertsinstitusjon, og de har flere forskningspartnere som SINTEF og NTNU.

4.2.3 Elektrofuels i Norge

Prosjekter for produksjon av efuels er under utvikling i Norge. En grunn til at Norge er et attraktivt sted for produksjon av efuels er en høy fornybarandel for kraftproduksjonen og elektrisitetsmixen i nettet, relativt sett noe lavere energikostnader fra fornybar vannkraft, og god tilgang på fossilt karbondioksid til en lav kostnad og høy renhet (sidestrøm fra gjødsel og ammoniakk-produksjon). To selskap planlegger produksjonsanlegg på Herøya i Porsgrunn og konkurrerer om å bli verdens første kommersielle produksjonsanlegg for efuels. Begge benytter Fischer-Tropsch syntese, noe som gjør at drivstoffet kan bli brukt til luftfart hvis aktørene kan bevise at de syntetiske parafinene tilfredsstiller standarder for innblanding (ASTM). Selv om FT-syntese er godkjent for flydrivstoff, kan også delvis raffinerte hydrokarboner («ecrude») raffineres videre i eksisterende raffinerier som produserer flydrivstoff.

For at produksjonen skal bli til flydrivstoff vil nok delvis prosesserte produkter sendes til et raffineri med eksisterende flydrivstoffproduksjon. Herøya er av flere årsaker en attraktiv lokasjon og klynge. Herøya et etablert industriområde med store fossile CO₂-punktutslipp, og produksjonsanleggene kan knyttes direkte til det sentrale strømmettet hvor det er høy tilgjengelig nettkapasitet og tilgang til kraft.

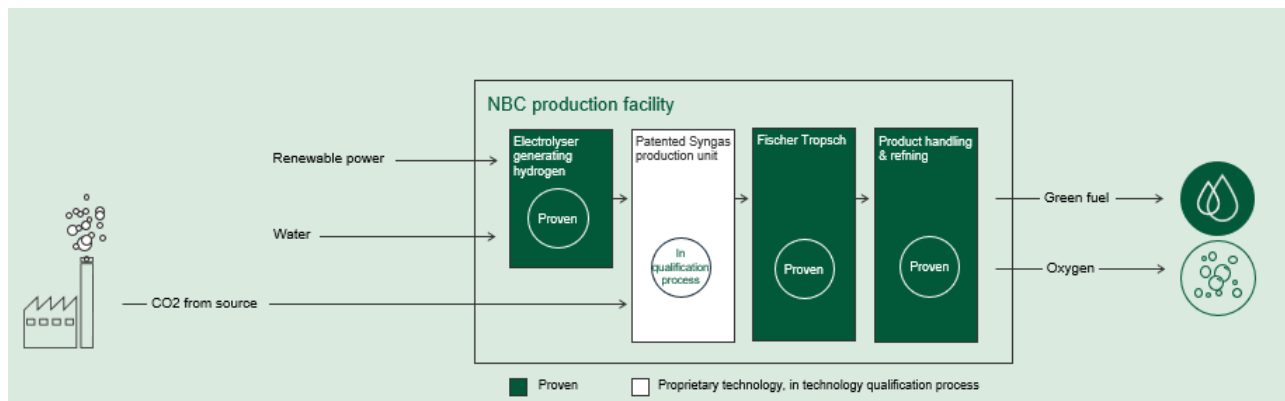
Nordic Blue Crude AS (NBC) planlegger å åpne en demofabrikk for efuels på Herøya i 2023, med produksjonskapasitet på 10 millioner liter i året. Ved vellykket oppstart og drift av dette anlegget er planen å starte bygging av et fullskala anlegg i 2024. Dette anlegget skal ha en kapasitet på 200 millioner liter per år, med full produksjon fra 2027. For demoanlegget vil ca. 50% av produksjonen gå til flydrivstoff, men denne andelen kan på sikt økes til 80%.

Nordic Blue Crude samarbeidet i utgangspunktet med Sunfire for bruk av deres PtL-teknologi, men dette samarbeidet er avsluttet. NBC har valgt et annet konsept for elektrolyse; høytrykk alkalisk elektrolyse. De vil benytte Fischer-Tropsch syntese for å produsere syntetisk drivstoff/«blue crude», som videre kan raffineres til ulike drivstoff, som vist i Figur 40 (Nordic Blue Crude, 2021). Ved vellykket produksjon fra det første fullskalaanlegget planlegger NBC å bygge flere lignende anlegg.

De ulike delene av prosessen har ulik teknologisk modenhet, hvor elektrolyse er på TRL 8, Fischer-Tropsch-syntese på TRL 8-9, mens RWGS-prosessen, (reverse water gas shift), er minst utviklet på TRL 6. Samlet ligger produksjonsprosessen på TRL 7. Prosessen skal redusere CO₂-utslipp med 87% sammenlignet med fossile drivstoff.

Hovedaksjonærer er nøkkelpersoner i NBC og den industrielle investoren Marquard & Bahls. I tillegg til kapitalfinansiering har NBC fått offentlig støtte fra flere aktører og er i dialog med blant annet Enova. Det er gjennomført konseptstudier i samarbeid med Aker Solutions og NTNU. NBC har signert intensjonsavtaler for kjøp av bærekraftig flydrivstoff fra demoanlegget, samt intensjonsavtaler med nøkkelselskaper om kraft, CO₂, vann og areal, blant annet med Eramet for kjøp av ferdig fanget CO₂ og salg av oksygen fra produksjonsprosessen. NBC har etablert datterselskapet Nordic Wind som skal utvikle vindkraftprosjekter som kan levere strøm til produksjonsanlegget. Når det gjelder verdiskapningspotensiale er det estimert at produksjonsanlegget vil ha rundt 40 ansatte i drift i tillegg til andre ringvirkninger.

Figur 40 – Illustrasjon av produksjonsprosessen til Nordic Blue Crude

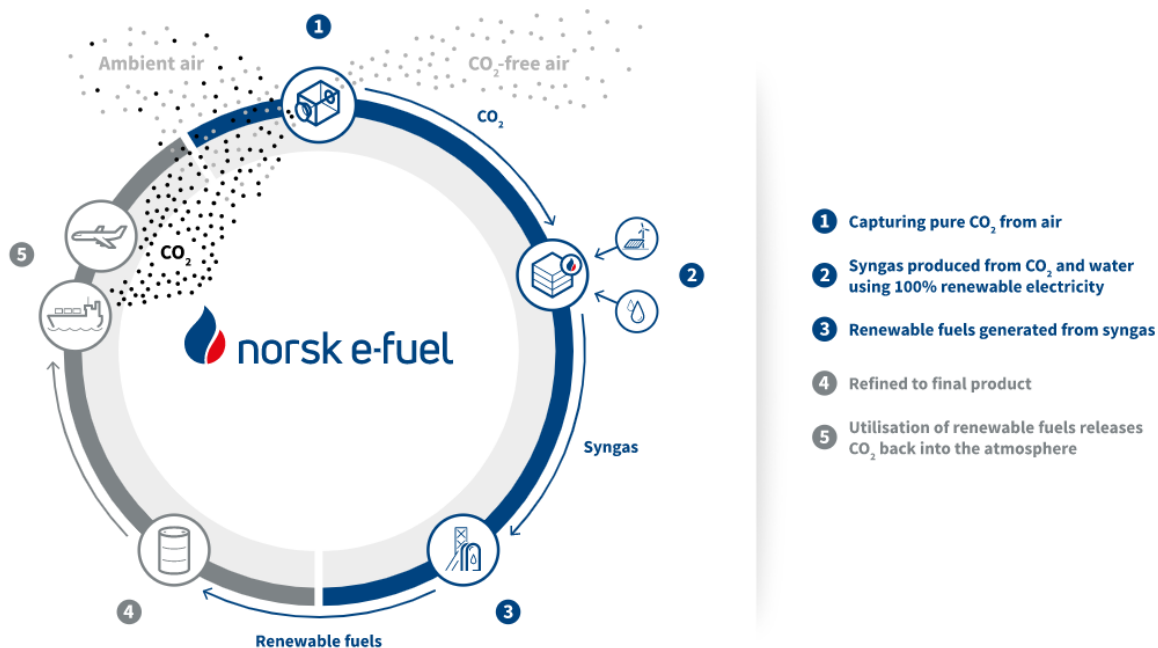


Norsk e-Fuel er et industrikonsortium med fire partnere, som i juni 2020 presenterte at de også har planer om å bygge et produksjonsanlegg for e-fuels på Herøya. Konsortiet består av Sunfire, som er en teknologileverandør for efuels, Climeworks AG som er pioner innenfor teknologi for direktefangst av CO₂, det internasjonale EPC-selskapet Paul Wurth SA og Valinor, som investerer i fornybar energi. Norsk e-Fuel planlegger at det første anlegget, som vil starte produksjonen i 2023, vil være et demoanlegg på 10 millioner liter efuel i året. I 2026 er planen å skalere opp til 100 millioner liter per år, hvor 70-80% skal bli flydrivstoff. Dette fullskalaanlegget vil ha et kraftforbruk på 200 MW, og kan ifølge Norsk e-Fuel spare 250 000 tonn CO₂-utlipp (Norsk e-fuel, 2021).

Figur 41 illustrerer produksjonsprosessen til Norsk e-Fuel (punkt 1-3). De skal bruke Sunfire sin teknologi for elektrolyse, SOEC (Solid oxide electrolysis cells) co-elektrolyse til å produsere syntesegass. Produktet er fornybar syntetisk råolje, produsert gjennom Fischer-Tropsch syntese, som videre kan raffineres til mange ulike oljeprodukter. Norsk e-fuel vil samarbeide med raffinerier som oppgraderer til ferdig drivstoff (punkt 4), og er i dialog med raffinerier om dette. Planen til norsk E-fuel er å benytte CO₂-punktutslipp fra industri til å dekke mesteparten (ca 80-85%) av karbonbehovet i starten, og gradvis øke andelen direktefanget CO₂ når dette blir mer effektivt enn det er i dag.

Teknologien er allerede testet i et demoanlegg i Dresden fra 2016, og samlet er prosessen på TRL 4-5. Prosessen skal redusere CO₂-utslipp med 88% sammenlignet med fossilt drivstoff. Norsk e-Fuel har fått offentlig støtte blant annet fra Innovasjon Norge. Det er estimert at konstruksjon, drift, vedlikehold og logistikk vil skape 100-300 nye arbeidsplasser på hvert anlegg.

Figur 41 – Illustrasjon av produksjonsprosessen til Norsk e-Fuel (Norsk e-fuel, 2021).



Mo Industrial e-fuels har planer om å produsere hydrogen og fange og gjenbruke CO₂ og spillvarme fra Elkem ved hjelp av en teknologi fra ThyssenKrupp og Swiss Liquid. De har planer om å produsere 48.000 tonn med hydrogen per år, fange 350.000 tonn CO₂ per år og bruke 2,6 TWh med elektrisitet for dette og videre prosessering til 320 mill. liter metanol per år (eMethanol). En videre prosessering er nødvendig for å produsere drivstoff, også til luftfart. Prinsippene for aktørene er vist i Figur 42, med mer detaljer for prosessen i Figur 43.

Figur 42 – Verdikjeden for ecrude (emetanol) fra Mo Industripark og Elkem for videre raffinering (Mo Industrial eFuel, 2021)

Nordland
Hydropower
Conversion into H₂



HELGELAND
KRAFT

Nordland CO₂ feedstock

Elkem



Nordland
infrastructure
Local storage and
usage
International shipment

Mo Industripark as SINTEF



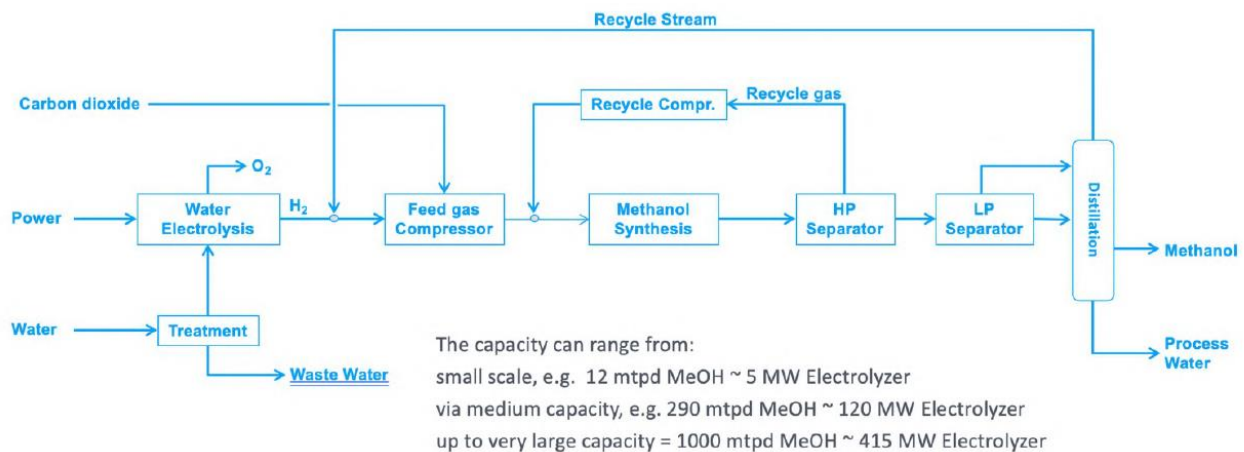
ThyssenKrupp-teknologien vises under, og ansees som moden med godt utprøvd prosessering, men er mer kostbar enn fossile alternativer. Metanolen som produseres, også omtalt som «ecrude» eller «e-methanol» kan brukes i videre raffinering. E-metanol er ikke godkjent som en rute for flydrivstoff, men det utredes. Mulighetene for å etablere dette

prosjektet og denne e-metanol-prosessen har vært vurdert og utredet siden 2018, og fortsetter videre med en mer detaljert mulighetsstudie og første finansieringsrunde i oktober 2021, hvor det skal inviteres til en anbudsprosess for et anlegg (EPC) i januar 2022, og den første delen av produksjonsvolumene kan trolig være klar i 2024.

Figur 43 – Prosess for metanolproduksjon vha. ThyssenKrupp-prosessen (Mo Industrial eFuel, 2021)

Silicon Fire / Uhde Technology for Renewable Methanol

Typical plant configuration

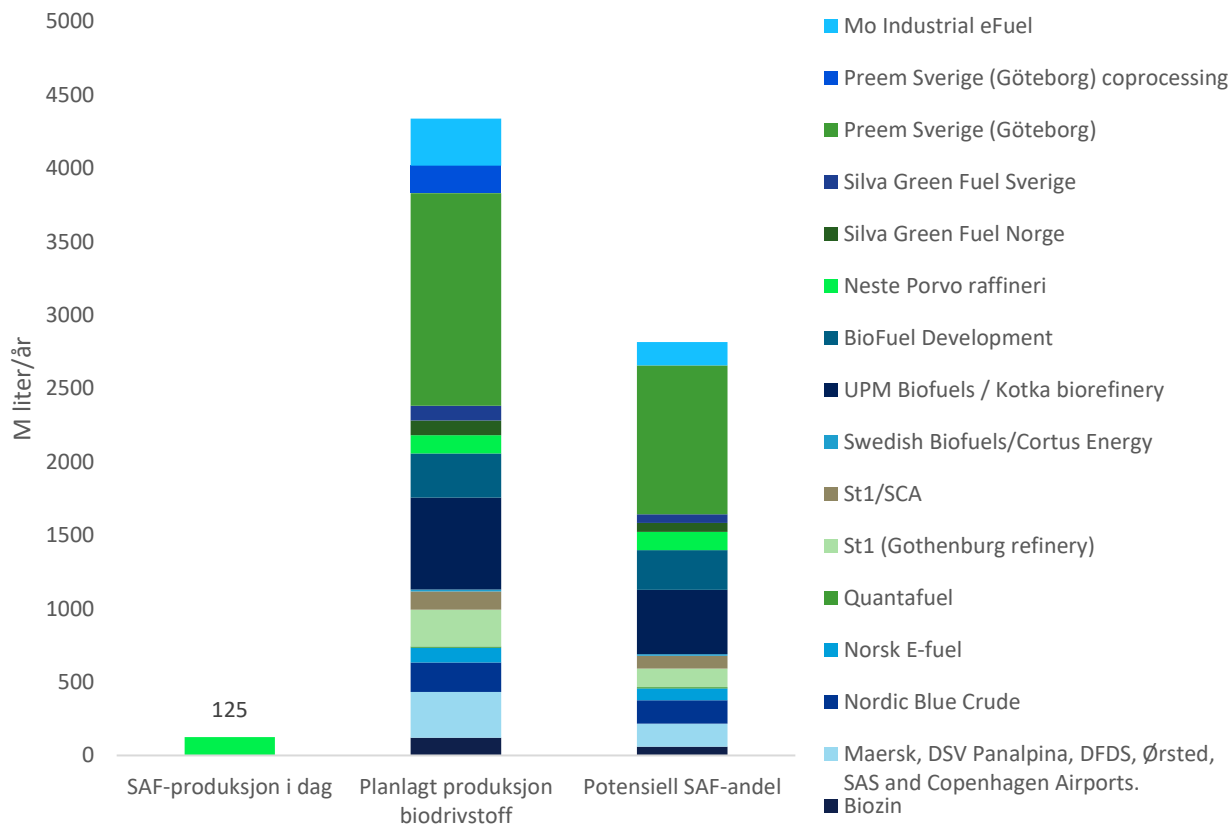


Silicon Fire / Uhde Technology is an advanced technology for small & industrial scale Renewable Methanol plants

4.2.4 Prosjekter i Norden

Drivstoffprodusenten Neste sitt raffineri i Porvoo i Finland er det eneste produksjonsanlegget for bærekraftig flydrivstoff i Norden i dag. Neste har en samlet produksjonskapasitet for bærekraftig flydrivstoff på ca. 100 000 tonn eller ca. 125 millioner liter per år, av en kapasitet på 13.5 mill. tonn/år hvor 3 mill. tonn er biobasert (Neste, 2021). I tillegg til de planlagte prosjektene i Norge er det flere prosjekter på gang i de andre nordiske landene. Figur 44 viser volumer bærekraftig flydrivstoff-produksjon i Norden i dag, annonserte biodrivstoffvolumer fra planlagte anlegg innen 2030, samt estimert en potensiell andel av bærekraftig flydrivstoff fra disse. Oversikten viser at potensiell produksjon av bærekraftig flydrivstoff i Norden kan bli 2.7 milliarder liter per år innen 2030 dersom disse anleggene etableres etter planen og optimaliserer produksjonen for flydrivstoff. Som under omtalen av de norske anleggene vil nok faktisk bærekraftig flydrivstoff-volum være lavere enn illustrert her.

Figur 44 - Produksjonsvolumer fra eksisterende og planlagte anlegg i Norden (DNV 2021)



Neste er altså verdens største produsent av avansert biodrivstoff, og har et mål om å øke kapasiteten til 4.5 mill. tonn/år innen 2023. De har raffineringer i Porvoo i Finland, Rotterdam i Nederland og i Singapore, og er den eneste kommersielle produsenten av ASTM-godkjent bærekraftig flydrivstoff i Norden i dag. De produserer bærekraftig flydrivstoff hovedsakelig basert på brukt matolje gjennom en HEFA-prosess. Neste demonstrerte produksjon av bioparaffin allerede i 2011, og har siden da ekspandert globalt. I USA og Europa er Nestes produksjonskapasitet for bærekraftig flydrivstoff 100 000 tonn, men innen 2022 vil denne øke til over 1 million tonn innen 2022 med deres anlegg i Singapore (Neste, 2021) (Nordic Energy Research, 2020).

Swedish Biofuels og Cortus Energy planlegger et produksjonsanlegg for biodrivstoff til luftfart basert på skogsråvare og alkohol, som skal leveres til Arlanda lufthavn. Teknologien skal være en kombinasjon av Cortus' WoodRoll gassifiserings-prosess og Swedish Biofuels' katalytiske prosess for bærekraftig flydrivstoff (Bioenergy International, 2019).

Preem er det største oljeselskapet i Sverige, med raffineringer i Göteborg og Lysekil, og har mål om å produsere 2.4 Mtonn fornybare drivstoff innen 2030 (Barclays, 2021). Siden 2010 har Preem produsert fornybar diesel fra skogrester gjennom co-prosessering i raffineringer i Göteborg. På grunn av ASTM-grensen på 5% vil de måtte redusere biooljekomponenten drastisk for å kunne produsere bærekraftig flydrivstoff gjennom co-prosessering (Nordic Energy Research, 2020). Preem planlegger en ny HEFA produksjonsenhet i Göteborg som forventes å ferdigstilles i 2022, med produksjonsvolum på 1 million tonn fornybart drivstoff per år. De har signert en intensjonsavtale med SAS for offtake (Nordic Energy Research, 2020).

St1 planlegger et nytt bioraffineri på sitt raffinering i Göteborg som skal starte produksjon i 2022. De har et mål om årlig produksjon på 200 000 tonn avansert biodrivstoff, hvor en del kan gå til flydrivstoff (St1, 2019).

UPM biofuels raffineri i Lappeenranta i Finland er verdens første bioraffineri til å produsere fullt trebasert bærekraftig diesel og nafta. De planlegger å utvide produksjonen med et anlegg i Kotka i Finland med produksjonskapasitet på 500 000 tonn fornybar drivstoff fra ulike råvarer – blant annet testes brassica carinata-olje fra Uruguay. Innen 2025 vil rundt 100 000 tonn av produksjonen være bærekraftig flydrivstoff. (ICAO, 2021)

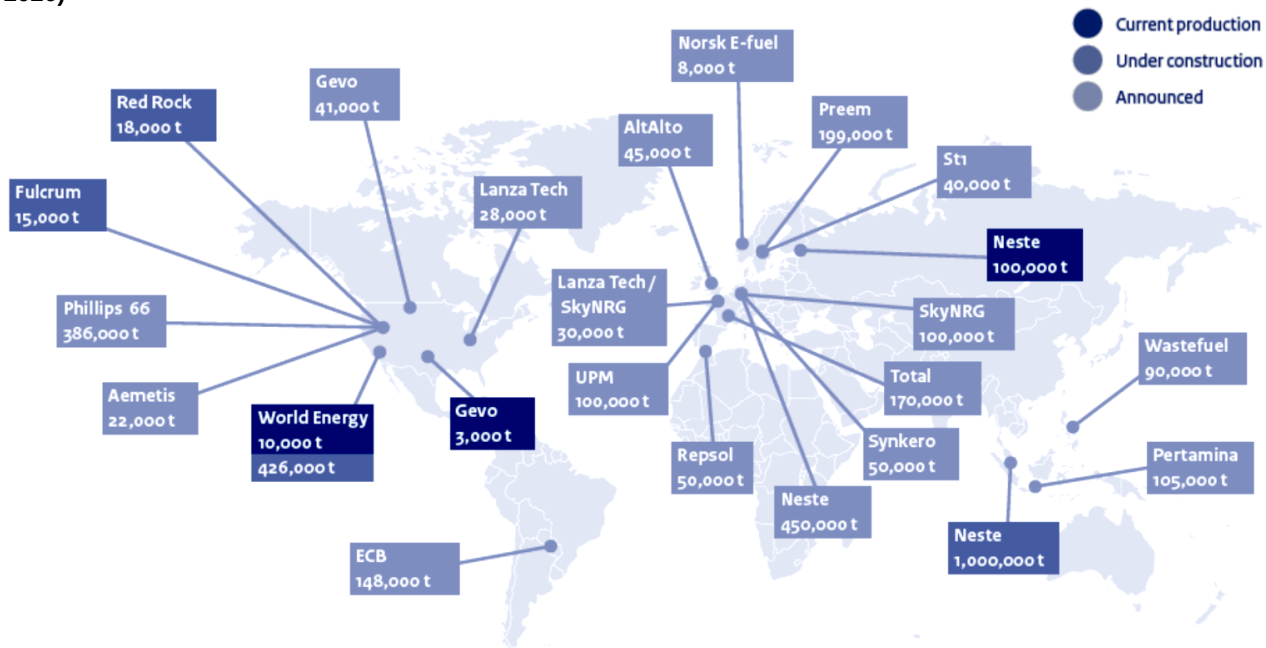
Maersk, DSV Panalpina, DFDS, Ørsted, SAS og Copenhagen Airports har gått sammen og dannet et partnerskap som skal bygge et anlegg som skal produsere grønn hydrogen og e-fuel i København-området fra 2023. Fullskala produksjon fra 2030 skal være på over 250 000 tonn bærekraftig drivstoff for landtransport, maritim og luftfart.

4.2.5 Prosjekter i Europa og Globalt

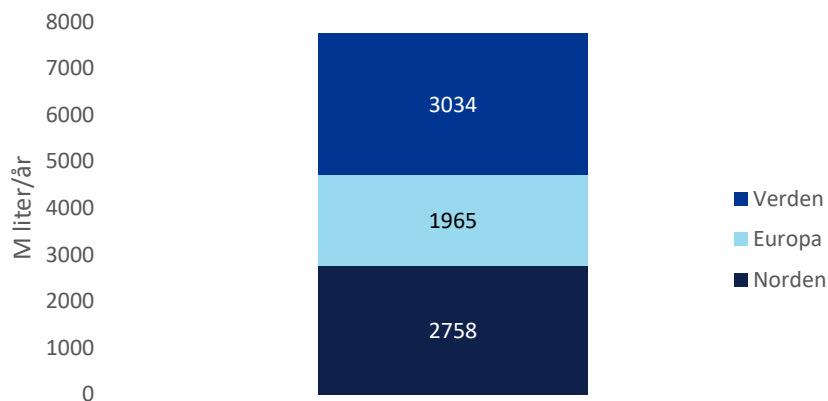
Utfordring er å holde oversikt over alle anleggene som annonseres, og hvorvidt de starter med produksjon, og hvor mye som kan bli flydrivstoff. Dette er spesielt utfordrende å anslå med Covid-19. Anlegg kan bli utsatt, eller fokusere på å selge større andeler til veitransport, eller marine formål.

Global produksjon av bærekraftig flydrivstoff er svært begrenset i dag, og det finnes kun noen få produksjonsanlegg i drift i verden. Finske Neste står for mesteparten av bærekraftig flydrivstoff-produksjonen i dag, men det begynner å dukke opp stadig nye initiativer og prosjekter rundt i verden, både for bærekraftig flydrivstoff-produksjon i eksisterende raffinerier og nye produksjonsanlegg. Ved å utvikle/tilpasse eksisterende oljeraffinerier til å kunne raffinere bioråolje til bærekraftig flydrivstoff kan man utnytte eksisterende infrastruktur og drivstoffsystemer på flyplasser. Figur 45 viser en oversikt over operasjonelle og en del av de planlagte produksjonsanleggene for bærekraftig flydrivstoff globalt. I tillegg til disse prosjektene har DNV laget en oversikt over en rekke planlagte anlegg med tilhørende produksjonsvolumer og potensielle bærekraftig flydrivstoff-andeler. De fleste presenterer samlet produksjonsvolum for biodrivstoff og ikke nøyaktig hvor mye som skal gå til flydrivstoff – dette vil stort sett avgjøres av markedet. Dersom spesifikt volum for produksjon av bærekraftig flydrivstoff ikke er annonsert er det estimert bærekraftig flydrivstoff-volum basert på hva som er mulig for den aktuelle produksjonsprosessen. Samlet volum for Norden, resten av Europa og resten av verden er presentert i Figur 46, og viser at de planlagte anleggene kan produsere opp mot 8000 millioner liter bærekraftig flydrivstoff mot 2030.

Figur 45 – Planlagte og operasjonelle produksjonsanlegg for bærekraftig flydrivstoff (WBD Action programme, 2020)



Figur 46 – Estimerte volumer av bærekraftig flydrivstoff fra operasjonelle og planlagte produksjonsanlegg innen 2030 (EASA, 2019), (DNV 2021, basert på offentlige kunngjøringer)



Det annonseres stadig nye planer for produksjon av bærekraftig drivstoff globalt. I dette kapittelet beskrives noen av prosjektene med hovedfokus på Europa (EASA, 2019).

Total er involvert i flere bærekraftig flydrivstoff-initiativer, og annonserte 8. april 2021 at de er i gang med produksjon av bærekraftig flydrivstoff fra brukt matolje på bioraffineriet La Mède og anlegget Oudalle i Frankrike. Total skal også produsere bærekraftig flydrivstoff på raffineriet Grandpuits fra 2024. Anleggene benytter HEFA-teknologi, og Total har annonsert at de ikke skal bruke vegetabiliske oljer i produksjonen sin (Total, 2021).

Repsol planlegger et produksjonsanlegg i Spania som skal være ferdig rundt 2022, med total produksjonskapasitet på 250 000 tonn biodrivstoff.

LanzaTech, som opprinnelig kommer fra New Zealand og har hovedkontor i USA, har utviklet en gassfermenteringsteknologi som produserer syntesegass for konvertering til etanol som kan konverteres videre til bærekraftig flydrivstoff gjennom en AtJ prosess. LanzaTech har flere anlegg med partnere rundt i verden som produserer

syntesegass fra industrielle avgasser. De har også demoanlegg og kommersielle anlegg under utvikling som skal konvertere husholdningsavfall til flydrivstoff, både i Europa og USA.

SkyNRG utvikler verdikjeder for bærekraftig flydrivstoff-produksjon, såkalte «Direct Supply Lines» (DSL).

Produksjonsanlegget DSL-01 i Nederland skal produsere bærekraftig flydrivstoff fra spilloljer gjennom HEFA-teknologi i Nederland. Produksjonen skal starte i 2022 og skal produsere 100 000 tonn bærekraftig flydrivstoff per år innen 2030. KLM Royal Dutch Airlines har forpliktet seg til å kjøpe 75 000 tonn bærekraftig flydrivstoff i året over 10 år. SkyNRG leder også FLITE-konsortiet, som skal bygge et produksjonsanlegg som skal produsere 30 000 tonn bærekraftig flydrivstoff per år fra avfall gjennom Lanzatech sin ATJ-teknologi.

Altalto er et samarbeid mellom Veolocys, British Airways og Shell, som planlegger et anlegg i Immingham i UK som skal begynne produksjon i 2024. Det er ukjent hvilke råstoff anlegget skal bruke, men anlegget skal benytte en Fischer Tropsch-teknologi og ha kapasitet på 60 millioner liter drivstoff til fly og veitransport.

Shell har nylig annonsert produksjon av [820.000 tonn per år fra Pernis raffineriet](#), hvor mer enn 50% kan bli SAF fra avfall. De annonserte også i mars 2021 planer om å produsere bærekraftig flydrivstoff i deres **Rhineland raffineri** i Tyskland (Biofuels international, 2021).

Fulcrum BioEnergy fra USA produserer flydrivstoff fra husholdningsavfall gjennom Fischer Tropsch-syntese, og planlegger produksjonsanlegg i USA og i UK.

Air BP har levert bærekraftig flydrivstoff til flyplasser i Norden siden 2014. Air BP inngikk i 2016 et strategisk partnerskap med Fulcrum BioEnergy. I 2019 annonserte Air BP partnerskap med Neste for å levere bærekraftig flydrivstoff til svenske flyplasser.

I USA planlegges produksjonsanlegg fra blant annet **World Energy, SG Preston, Gevo, Red Rock Biofuels, Vadxx, Phillips 66 og Shell** i løpet av de neste årene.

4.2.6 Prosjekter for efuels globalt

I tillegg til Sunfire er det andre selskaper som utvikler PtL-teknologi, som **Caphenia**, som produserer syntesegass gjennom en «power-and-biogas-to-liquid» prosess. Selskapet bygger et demoanlegg og sikter mot å starte produksjonen i 2023 (WEF, 2020). **Rotterdam The Hague Airport, SkyNRG og Climeworks** planlegger demoanlegget Zenid for produksjon av syntetisk drivstoff fra grønt hydrogen og direktefangst av CO₂ fra luften. Produksjonsprosessen vil benytte co-elektrolyse og Fischer-Tropsch-syntese (Airport World, 2021).

Heide raffineri i Tyskland har annonsert at de skal produsere syntetisk flydrivstoff fra overskuddskraft fra lokal vindkraft, som skal kjøpes av Lufthansa. Hamburg lufthavn er også med i samarbeidet, og i løpet av 4 år estimerer Heide at de kan produsere 5% av drivstofforbruket til Hamburg lufthavn, noe som tilsvarer ca 15 000 tonn eller 19 millioner liter per år.



5 RAMMEVERK FOR BÆREKRAFT OG KLIMAEFFEKT

Kapittel 5 presenterer en oversikt over etablerte og oppdaterte rammeverk for bærekraft og klimaeffekt. Dette innebærer også for innsatsfaktorene biomasse, hydrogen, karbondioksid og elektrisitet.

5.1 Bærekraft for flydrivstoff

Bærekraftig drivstoff innebærer at hele verdikjeden tar hensyn til miljø, sosiale forhold og økonomi. Ulike organisasjoner tilknyttet luftfartsbransjen har definert bærekraft for flydrivstoff overordnet rimelig likt.

Definisjonen av bærekraft for flydrivstoff er definert av ATAG som *"kan kontinuerlig og gjentatte ganger brukes på en måte som er i samsvar med økonomiske, sosiale og miljømessige mål, og spesifikt bevarer en økologisk balanse ved å unngå degradering av naturressurser og bidrar ikke til klimaendringer."*

ICAO har definert bærekraftig flydrivstoff som alternative drivstoff som

- 1) oppnår en netto reduksjon av klimagasser på livssyklusbasis;
- 2) respekterer områder som har en stor betydning for biologisk mangfold, ivaretar naturvern og økosystemtjenester til fordel for mennesker i samsvar med internasjonale og nasjonale regler; og
- 3) bidrar til lokal sosial og økonomisk utvikling og unngår konkurranse med mat og vann.

Bærekraft er derfor ikke begrenset til reduksjon av drivhusgasser, men tar også hensyn til endring av arealbruk (LUC, Land Use Change) og samfunnsøkonomiske konsekvenser. Noen råmaterialer for produksjon av biodrivstoff dyrkes vanligvis på dyrket mark som også kan brukes til produksjon av mat eller fôr. Det er viktig å sikre at produksjonen ikke konkurrerer med disse primære ressursene. Arealbruksendringer (LUC – Land Use Change) finner sted når biodrivstoff forårsaker arealbruksendringer (f.eks. fra skog til avling), enten i nærliggende region som biodrivstoffet dyrkes (direkte LUC) eller andre steder (indirekte LUC) på grunn av for eksempel begrensninger i tilbud og etterspørsel. Dette kan til slutt føre til indirekte utslipp på grunn av tap av bundet karbon i trær som har blitt hugget ned, eller på grunn av frigjøring av CO₂ som er bundet i trær eller jord ved hogst. En viktig måte å redusere risikoen for arealbruksendringer på er å bruke rester, avfall og biprodukter til produksjon av bærekraftige drivstoff.

For å svare på spørsmålene innen både klima og bærekraft i forhold til flydrivstoff, må både på utslipp fra flyturen, og produksjonen av slike flydrivstoff i hele forsyningskjeden vurderes. Utslippsrammeverket for utslippene direkte fra flyet er dekket under CORSIA-programmet så vel som EU ETS og er basert på reisene for hvert enkelt fly. En rekke programmer er enten satt opp eller i ferd med å bli satt opp for å gi forsikringer om at opprinnelsen og utslippsavtrykket til ethvert bærekraftig flydrivstoff kan gis på en måte som gir flyselskapene tillit til at de er i stand til å oppfylle kravene i EU så vel som CORSIA.

Økt biomasseproduksjon som trengs for bærekraftig flydrivstoff, kan ha betydelig negativ innvirkning på biologisk mangfold og resultere i utslipp fra økosystemer med høyt karbon. På grunn av dette potensialet krever CORSIA-programmet at alt biodrivstoff som brukes i luftfarten, kun er produsert fra råstoff som ikke kommer fra landområder som ble klassifisert som økologisk økosystem i 2008 eller er klassifisert med et høyt biologisk mangfold.

Ulike rapporter har beregnet framskrivninger og roadmaps for hvordan klimagassutslipp fra luftfart kan reduseres ned mot null i 2050. Biodrivstoff utgjør typisk 30-50% av utslippsreduksjonene, hvor ulike andre tiltak også bidrar. De andre tiltakene er teknologiforbedringer og effektivisering for konvensjonelle drivstoff og fly, elektrifisering og hydrogen, samt forbedret trafikkstyring (air traffic management) og redusert økning i antall reiser ved mer kostbare flyreiser.

5.1.1 Rammeverk bærekraft biodrivstoff

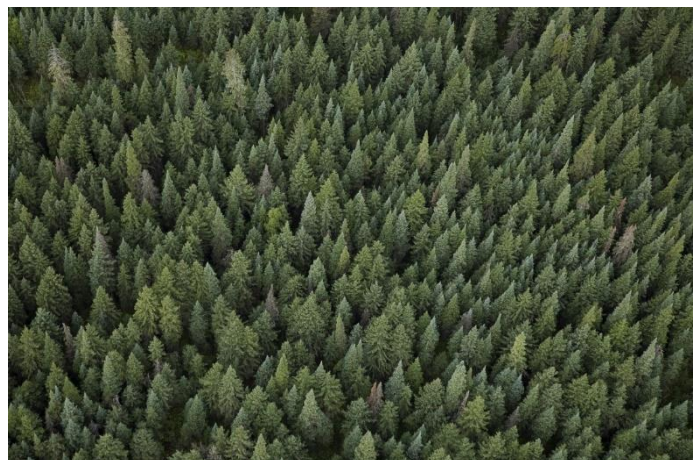
Hvis EUs politiske rammeverk fremdeles delvis tillater fôr- og matavlinger for produksjon av drivstoff, vil bærekraftskriterier i mindre grad bli oppfylt. I revideringene av fornybardirektivet mot 2030 (RED II) setter rammeverket grenser for biodrivstoff med høy ILUC-risiko, hvor dette gradvis må reduseres mot null innen 2030. Disse grensene består av en frysing på nivåer i 2019 for perioden 2021-2023, som gradvis avtar fra slutten av 2023 til null innen 2030 (EC, 2019c). Medlemsstatene får heller ikke inkludere volumene som dekkes av disse grensene for målet om fornybarandeler for fornybar energi.

Det er godkjent en rekke frivillige standarder i EU for biomasse og biodrivstoff. For biodrivstoff har EU godkjent en liste over frivillige bærekraft-standarder (inkludert RSB og ISCC) som oppfyller EUs bærekraftskriterier (EC, 2020k). Ved å velge en frivillig ordning, kan luftfartssektoren bruke strengere kriterier enn det eksisterende direktivet om fornybar energi. Ledende flyselskaper har antydnet at de foretrekker å bruke sterke og pålitelige bærekrafts-standarder som tar sikte på de høyeste bærekrafts-nivåene.

5.1.2 Opprinnelsesgarantier for drivstoff eller biomasse

For å øke produksjon og bruk av biodrivstoff i Europa, og sikre sporbarhet og en helhetlig bærekraft, har EU godkjent flere frivillige standarder (som listet under). Programmene og standardene fokuserer på primærproduksjon av råstoffene for biodrivstoff, og hvordan biomassen brukes til biodrivstoff. Noen fokuserer også på å dokumentere forhold som er relevant for luftfart, f.eks. ISCC & RSB EU RED.

1. [ISCC](#) (International Sustainability and Carbon Certification)
2. [Bonsucro EU](#)
3. [RTRS EU RED](#) (Round Table on Responsible Soy EU RED)
4. [RSB EU RED](#) (Roundtable of Sustainable Biofuels EU RED)
5. [2BSvs](#) (Biomass Biofuels voluntary scheme)
6. [Red Tractor](#) (Red Tractor Farm Assurance Combinable Crops & Sugar Beet Scheme)
7. [SQC](#) (Scottish Quality Farm Assured Combinable Crops (SQC) scheme)
8. [Red Cert](#)
9. [Better Biomass](#)
10. [RSPO RED](#) (Roundtable on Sustainable Palm Oil RED)
11. [KZR INIG System](#)
12. [Trade Assurance Scheme for Combinable Crops](#)
13. [Universal Feed Assurance Scheme](#)
14. [U.S. Soybean Sustainability Assurance Protocol EU \(SSAP EU\)](#)



5.1.3 Rammeverk bærekraft biomasse

Bærekraftskriterier bør evaluere drivstoffets bærekraft gjennom hele livssyklusen, fra råvareproduksjon og konvertering til drivstoffproduksjon og distribusjon inkludert forbrenning i flymotorer, samtidig som det tas hensyn til den geografiske plasseringen og dermed de lokale samfunnsøkonomiske forholdene. Strengte bærekraftskriterier er det viktigste aspektet når implementeringen av bærekraftig flydrivstoff vurderes, ettersom de direkte avgjør i hvilken grad de alternative drivstoffene er *helt* bærekraftige.

For å øke det tilgjengelige biomassepotensialet og for å unngå å konkurrere med andre sektorer, anbefaler flere studier å diversifisere med flere typer av biomasse og biobaserte råstoff, og å fokusere på avanserte råvarer som forblir stort sett uutnyttede, for eksempel jordbruks- og skogbruksrester og lignocellulose som ikke konkurrerer med matproduksjon (de Jong, et al., 2017; Searle, Pavlenko, Kharina, & Giuntoli, 2019, Destination 2050).

Standarden Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB) blir sett på som en god og pålitelig bærekraftsstandard i henhold til World Wildlife Fund (WWF), International Union for Conservation of Nature (IUCN) og Natural Resources Defense Council (NRDC) (ICAO, 2019 Environmental Rapport, 2019a). Den er basert på 12 prinsipper som sikrer varige løsninger uten å skape sosiale og miljømessige utfordringer: lover og regler; planlegging, overvåking og kontinuerlig forbedring; drivhusgassutslipp; menneskerettigheter og arbeidstakerrettigheter; distrikt og samfunnsutvikling; lokal matsikkerhet; bevaring; jord; vann; luftkvalitet; bruk av teknologi, innspill og håndtering av avfall; og landrettigheter (ICAO Environmental report 2019).

Ordningen ISCC, International Sustainability and Carbon Certification, sertifiserer biomasse i hele forsyningskjeden fra opprinnelse til sluttmarkedet. Ordningen er basert på seks prinsipper: beskyttelse av biologisk mangfold og karbonrike områder; god landbruksforvaltning; trygge arbeidsforhold; overholdelse av menneskerettigheter, arbeid og landrettigheter; overholdelse av lover og internasjonale avtaler; og god ledelsespraksis og kontinuerlig forbedring (Destination 2050).

Alle programmene har generelt sett de samme overordnede målene om å etablere bærekraftige verdikjeder for biomasse til mat og kjemikalier, bioenergi og biodrivstoff. RSB er riktignok mer fokusert på å håndtere virkningene av større virksomheter, mens ISCC mer fokusert på å sikre at mindre grunneiere og bønder er i stand til å delta i markedet, samtidig som de sikrer at deres rettigheter og tradisjoner for jordforvaltning ivaretas.



5.1.4 Rammeverk hydrogen

Hydrogen er en viktig innsatsfaktor for bærekraftig drivstoff for luftfart, både for å øke andelen lette fraksjoner i bioraffinerier, som en innsatsfaktor for efuels, og for å konvertere ulike komponenter i drivstoffet slik at det er egnet for luftfart. Rammeverk for hydrogen har fått en ny giv ved at ambisiøse hydrogen-strategier er vedtatt, og en rekke pilotanlegg for både grønt og blått lav-karbon hydrogen er under planlegging.

EU foreslår nå i EU taksonomien at grønn og lavkarbon hydrogen må ha et karbonfotavtrykk lavere enn 3 kgCO₂/kgH₂, en klimateffekt på 73% i forhold til grå hydrogen laget fra naturgass. Syntetiske drivstoff basert på hydrogen skal også ha

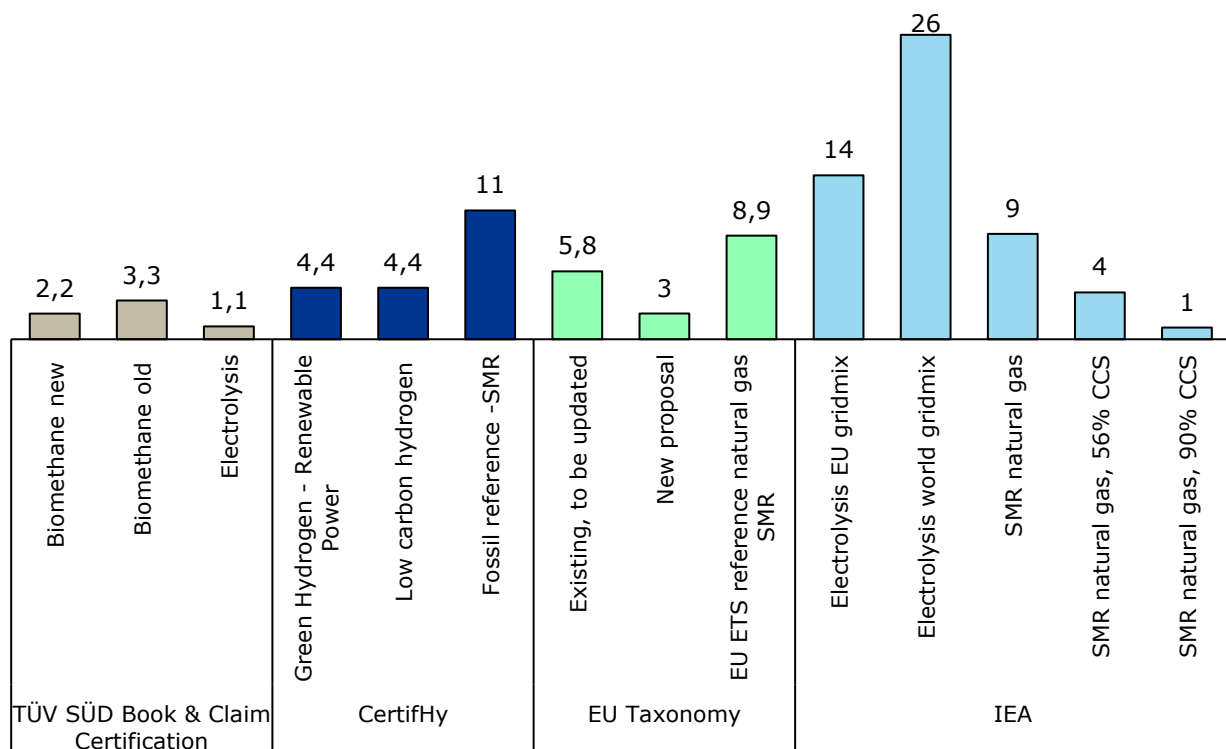
minimum 70% klimaeffekt i forhold til fossilt (EU Commission, 2021).¹⁰ Biodrivstoff og biogass skal i følge EU taksonomien ha en reduksjon på minst 65%.

CertifHy-programmet er etablert for å kunne etablere rammeverk for karbonfotavtrykk og opprinnelsesgarantier for hydrogenproduksjon. Dette er nå inne i en ny fase hvor det skal utredes hvordan dette rammeverket kan være en del av europeisk rammeverk og lovgivning. Fokuset er nå mer på grensenivåer for utslippsintensitet, enn produksjonsmetode, da en verdikjede med «grønn» elektrolyse kan ha et like stort eller større karbonfotavtrykk som blå hydrogen hvis elektrisiteten ikke er fornybar. Figur 47 viser en oversikt over ulike nivåer for utslippsintensitet i forhold til standarder og rammeverk. Verdikjedene, metoden og systemgrensene er ikke nødvendigvis like, men det gir indikasjoner på nivåene som er diskutert i hydrogenbransjen.

[CertifHy](#) er etablert med økonomisk støtte fra Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU). Konsortiet er ledet av HUNCIO og sammensatt av ECN, GREXEL, Ludwig Bölkow System Technik (LBST) og TÜV SÜD. Prosjektet har definert en europeisk definisjon av grønt hydrogen, og det har blitt utviklet en første skisse for opprinnelsesgaranter for hydrogen (GoO, guarantees of origin) i tråd med CEN - EN 16325 for handel med hydrogen i Europa. I sin tredje fase av prosjektet blir programmet testet i tre medlemsland (Østerrike, Belgia og Nederland), med det spesifikke målet å teste GoO-ordningens evne til å adressere spesifikk nasjonal lovgivning og krav når det gjelder bruk og produksjon av hydrogen. I tillegg er det fire piloter som viser fire ulike verdikjeder for hydrogen (Belgia, Frankrike, Tyskland og Nederland).

Programmet skal til slutt være i tråd med de definerte fornybare transportdrivstoffene i fornybardirektivet, dvs. fornybare drivstoff av ikke-biologisk opprinnelse "RFNBOs". Det antas at GO-ordningen og RFBBO-revisjon revideres i sammenheng med fornybardirektivet.

Figur 47 – Karbonfotavtrykk for hydrogen, rammeverk og benchmarks for kgCO₂e/kgH₂ (DNV 2021)



¹⁰ Metodebeskrivelse: Life-cycle GHG emissions savings are calculated using the methodology referred to in Article 28(5) of Directive (EU) 2018/2001 or, alternatively, using ISO 14067:2018 or ISO 14064-1:2018. Quantified life-cycle GHG emission savings are verified in line with Article 30 of Directive (EU) 2018/2001 where applicable, or by an independent third party.

5.2 Klimaeffekt og GHG-rammeverk (LCA-metode)

Klimaeffekt er redusert fossilt utslipp i forhold til fossilt for verdikjeden. Det totale biogene CO₂-utslippet kan være like høyt som for en fossil verdikjede, men det telles ikke med da det er biogent. Det totale biogene og fossile utslippet fra enkelte prosesser kan i totale mengder for CO₂ være høyere enn fossilt pga. ineffektive prosesser og at biomasse og fossil energi må brukes til prosessenergi for å konvertere biodrivstoffet. Flere av verdikjedene har også fossile utslipp direkte eller indirekte i transport og prosessering av biomassen. Elekrisitet til prosessene har også fossile utslipp. Selv fornybar kraft som vann- og vindkraft har 10-20 gram CO₂ per kilowatt-time.

Når bio- eller elektrodrivstoff forbrennes slippes det ut direkte like mye CO₂ som det ble bundet i biomassen når den vokste opp, og for CO₂-fangsten for efuels. I tillegg til indirekte utslipp, kan det også være «karbontap» i prosessen, men også i deler av hele verdikjeden ved at fornybare hydrokarboner forbrukes til prosessenergi. Prosessene kan ha ulike energieffektivitet, men også massebalanse eller karboneffektivitet. For produksjons-prosessene trengs det prosessenergi, og for biodrivstoff kan bioenergien i biomassen brukes. Dermed kan karboneffektiviteten og massebalansen i noen tilfeller være så lav som 50%. Dette betyr at kun halvparten av hydrokarbonene i biomassen ender opp som drivstoff. Andre karbon-tap kan også være fra håndtering av syntesegasser, delvis resirkulering av gassene internt i prosessene, og prosessutslipp. Med en kombinert energieffektivitet og karbon massebalanse på 50% innebærer det at det er like store CO₂-utslipp per liter fra prosessen som det er fra forbrenning av drivstoffet i jetmotoren. Hvis alt er biogent, og opptaket i naturen er like stort vil utslippene kunne være netto null innenfor den tidsperioden CO₂-en blir absorbert.

Komplette LCA-analyser må benyttes for å identifisere utslippene, både direkte og indirekte, og ikke bare isolert se på prosesseringen, men fra «well-to-wing», fra «råstoff til vinge». Utslippsberegning for biodrivstoff, bør vise både biogent og fossilt utslipp for hele verdikjeden. Utslippsreduksjonen eller klimaeffekten er da definert som det totale av fossilt og biogent for en verdikjede, minus det biogene som sammenlignes med en verdikjede med kun fossil energi og råstoff.

5.2.1 Rammeverk for regnskapsføring av klimagasser

Gjennom ICAO har luftfartsindustrien etablert CORSIA, som har definert frivillige standarder for CO₂-reduksjon i fase 1 (til 2026) og obligatoriske standarder i fase 2 (2027 og utover). bærekraftig flydrivstoff-bruk vil måtte stige til mer enn 30% av det totale flydrivstoff-forbruket innen 2040 for å oppfylle ICAO-forpliktelsene. Globalt innebærer dette høyere volumer enn det totale flydrivstoffet som for øyeblikket forbrukes i USA. Bærekraftig drivstoff trengs, fordi sivil luftfart ikke kan oppfylle CORSIA-mål ved effektivitetsgevinster og forbedring av motorer og flyoperasjoner alene (PNNL & NREL, 2020).

Regnskapsføring av klimagassutslipp er i seg selv ikke komplisert. Når kilden er identifisert kan utslippet måles og det kan beregnes hvor mye over tid som frigjøres i atmosfæren. En viktig forutsetning er om kun klimagassutslippet ved den aktuelle kilden tas med, eller utslipp i hele verdikjeden og for hele levetiden. Med andre ord, det er enkelt å bestemme utslippet ut fra mengden drivstoff som forbrennes i flymotoren (typisk 3 kgCO₂/liter). Imidlertid, hvis man ønsker å vite hvor store klimagass-utslipp som er knyttet direkte og indirekte til produksjonen av drivstoffet blir beregningene mer komplekse. For korrekte estimat, må alle utslippene langs forsyningskjeden til drivstoffet samles, og utslippene må tildeles riktig nøyaktig det drivstoffet som brukes i flyet. Flere verdikjeder kan produsere deler av drivstoffet, slik at da må utslippene vektas i forhold til hvor mye drivstoff som brukes med ulike utslippsintensiteter. Imidlertid blir stadig flere data tilgjengelig, og vi forstår livssyklusen til slikt drivstoff bedre.

Det er noen forskjeller innenfor regnskapsføring av utslipp, kalt source accounting (se kap. 5.2.2) og livssyklus accounting (se kap 5.2.3). Regnskapsføring inkluderer også ofte at det er utført en kompensasjon av utslipp et annet sted enn i verdikjeden til f.eks. biodrivstoffet, eller utslippet fra flyet. Selskaper kan bruke utslippsreduksjoner (GHG claims) for å rapportere lavere utslipp som en del av deres klimastrategier. Med denne metoden kompenserer

selskapene sine totale utslipp ved å redusere sine egne faktiske utslipp med eventuelle utslippsreduksjoner oppnådd andre steder.

Alt dette fører til et stort utvalg av metoder for regnskapsføring av klimagasser i klimastrategier. Samtidig har det også resultert i noen skiftende perspektiver når det gjelder hvordan ulike utslipp blir regnskapsført i forhold til overordnede utslippsmål for både selskaper, luftfartssektor og myndigheter.

5.2.2 Fysisk perspektiv (lokasjonsbasert metode, source GHG accounting)

Source GHG accounting kan deles i to segmenter, det frivillige og i forhold til lovpålagt rapportering (compliance). Det frivillige rapporteringsregimet følger WRI/WBCSD GHG Protocol for Cooperate accounting for scope 1 & 2 utslipp (direkte, og fra energiforsyning, ikke indirekte som er scope 3). Lovpålagt rapportering, eller regnskapsføring i samsvar med krav, kan følge en rekke med forskjellige standarder.

I Europa er EU Emission Trading system (ETS) er et godt eksempel på lokasjonsbasert regnskapsføring (source accounting). Et slikt system kan også kobles til skatter på utslipp eller subsidier for utslippsreduksjoner (f.eks. støtte til biodrivstoff). Derimot, det betyr likevel ikke at de faktiske utslippene korresponderer med de rapporterte utslippene. Dette gjelder spesielt for biodrivstoff, hvor mange av compliance programmene benytter en teoretisk utslippsfaktor i stedet for det faktiske utslippet da de ansees som fornybart, hvor CO₂'en blir fanget og absorbert i naturlige prosesser, eller likevel ville ha blitt brutt ned eller brent uten bruk av energien.

En slik framgangsmåte er en del av diskusjonen for å både se på utslipp ved utslippspunktet og hele produksjonsprosessen, for å nå klimamål innen 2050. IPCC har definert et utslippsbudsjett globalt som ikke må overskrides innen 2050. Hvis man tar utgangspunkt i dette, så kan ikke alle antagelsene for bærekraftig biomasse følges helt. Naturlig karbonbinding i skog og planter må være like stor som det som forbrennes, og uttaket må ikke være større enn et balansekvantum (eng: sustainable yield). Slik situasjonen er nå så hentes det ut og forbrennes mer biomasse enn gjenvekst, slik at det er fare for å overskride utslippsmål. Biogent utslipp, som ikke absorberes raskt nok, har dermed på kort sikt like stor klimaeffekt som fossilt CO₂.

5.2.3 Livssyklusberegninger (Life cycle GHG accounting)

Livssyklusutslipp refererer til utslipp produsert under råvareproduksjon og transport, konvertering til drivstoff, drivstofftransport og distribusjon, inkludert den endelige bruken i flymotoren. Ved å legge sammen alle utslippene til de enkelte trinnene oppnås de totale drivhusgassutslippene. Denne tilnærmingen kalles en livssyklusvurdering (LCA, life cycle assessment).

Livssyklusberegninger og regnskapsføring er dokumentert i standarder og tydelig på hvilke prinsipper som gjelder. Likevel, metoden for livssyklusanalyser kan gi store variasjoner i utslippsberegninger for en tilsynelatende lik verdikjede for et produkt eller drivstoff. Prinsippene er basert på ISO 14044 og ISO 14040 standardene. Standarden ISO 14067 angir retningslinjer på målinger og beregninger av klimagassutslipp, som er en del av livssyklusanalysene.

Livssyklusanalysene for klimagassutslipp for bærekraftig flydrivstoff, som dokumenteres i en rekke publikasjoner og studier, har en klimaeffekt på 25-95%. Variasjonene for en og samme verdikjede skyldes i hovedsak forskjellig systemgrenser, hvilke spesifikke eller generiske data som er benyttet, om indirekte utslipp er regnet med, og om biprodukter regnes med ved at de erstatter andre fossile alternativer (avoided emissions).

6 TILGANG, POTENSIALE OG BEGRENSNINGER FOR BIOMASSE OG ANDRE INNSATSFAKTORER

Kapittel 6 vurderer funn om tilgang, potensiale og begrensninger for biomasse og andre innsatsfaktorer som hydrogen, fornybar kraft og CO₂ for efuels.

Tilgang til bærekraftig biomasse for produksjon av biodrivstoff begrenses av fire hovedfaktorer:

- Råstoff og biomasse
- Prosjektkostnader og finansiering
- Infrastruktur
- Miljømessige og sosiale påvirkninger

Hovedfunnene for tilgang på biomasse er at noen kilder konkluderer med at det er nok biomasse i teorien i forhold til energimengder som kan høstes. Et annet spørsmål er om det er bærekraftig og om mengdene i praksis er tilgjengelige, både i tidsrammen fram til 2030 og 2050, men også økonomisk og i forhold til konkurransesituasjonen at mange andre næringer også ser etter store mengder biomasse og biodrivstoff.

En parallell utvikling av fornybar og lav-karbon hydrogen er også viktig for luftfart, da det er en viktig innsatsfaktor for bærekraftig biodrivstoff for luftfart. De siste 2-3 årene er det en ny giv og stor satsing og utvikling innen grønn hydrogenproduksjon fra fornybar kraftproduksjon og biogass, og lavkarbon blå hydrogen fra fossil naturgass med karbonfangst. Hydrogenet er en viktig innsatsfaktor i raffinering av både biomasse- og fossilbaserte hydrokarboner, metanol-produksjon for petrokjemi, ammoniakk og gjødsel, elektrofuels og for direkte bruk i brenselceller eller motorer.

Arealbruk, vannforbruk, helhetlig biomasse og jordbruksforvaltning er et omfattende tema som ikke behandles her i detalj. Hver verdikjede for produksjon av biomasse har ulike fotavtrykk for arealbruk, vannforbruk, energi- og karboninnhold. Dette er viktige parametere som må benyttes for både dokumentasjon av bærekraft, men også planlegging av råstoff som skal benyttes i stor skala for biodrivstoff.

6.1 Landbasert biomasse

Ulike kilder diskuterer tilgjengelig biomasse og råstoff for biodrivstoff. Flere kilder konkluderer med at hvis alt av biomasse som er tilgjengelig benyttes, hovedsakelig prioriteres for luftfart, med optimistiske scenarier på kostnadsreduksjoner og oppskalering, kan bærekraftig flydrivstoff utgjøre en større andel av utslippsreduksjonene for luftfart. Flere kilder oppgir at bærekraftig flydrivstoff ikke i seg selv er nok for å nå utslippsmål, eller kostnadseffektiv med eksponentielle kostnadskurver for økt uttak av biomasse, ved at også andre tiltak er nødvendig for en dekarbonisering av flybransjen.

Et funn, ved å se på dagens bioenergistatistikk, er at *alt* av dagens biomasse for energi, må benyttes for å dekke drivstoff *kun* til luftfart, hvor halvparten da kan benyttes for andre biodrivstoff-formål. Hvis alt av tømmer for energivirke globalt konverteres til biodrivstoff, vil det kunne dekke ca. 30% av drivstoffet til luftfart. Et praktisk spørsmål er da rett og slett om man kan øke uttaket og etablere verdikjeder for tre ganger mer tømmer enn det som håndteres i dag, på en bærekraftig måte. Noen publikasjoner problematiserer og diskuterer at det ikke er nok biomasse til alle formål for bioenergi og biodrivstoff. Et spørsmål i denne sammenheng er hvorvidt en begrenset ressurs som biomasse må prioriteres til bransjer som ikke har andre alternativ (hard-to-abate sectors), som mellom- og langdistanse flyvninger.

Bærekraftig HEFA er ikke tilgjengelig i store nok mengder enn for mer enn 5-10% av bærekraftig flydrivstoff (PNNL & NREL, 2020). Hovedårsaken til dette er at HEFA i stor grad baseres på avfallsprodukter, som ikke er tilgjengelig i større mengder enn for opp mot 10 % bærekraftig flydrivstoff. Noen kilder antar også at lignocellulose via Fischer-Tropsch og Alcohol to Jet ikke kan utgjøre mer enn 60% av storskala bærekraftig flydrivstoff-produksjon. De andre produksjons-

rutene kan utgjøre mindre mengder, hvis ikke hydrotermolyse kan utnytte større mengder våt biomasse. Flere av rapportene argumenterer for at biomasserester og avfall må inkluderes i en større grad, både fordi det har en lavere kostnad, men også kan ha en bedre bærekraftsprofil.

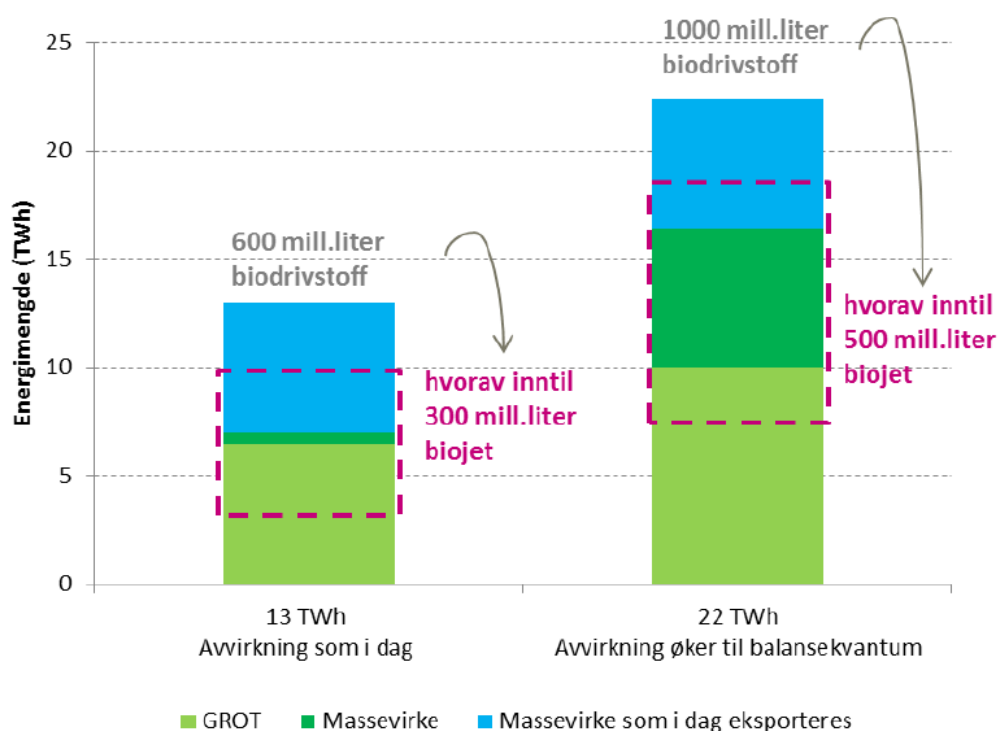
En utfordring for å tilby bærekraftig flydrivstoff er at størrelsen på drivstoffmarkedet for fly er stort og vokser. Den globale etterspørselen kan forventes å øke etter corona-situasjonen er løst. Optimistiske scenarier anslår at økningen kan være fra 300-400 milliarder liter i 2019 til mer enn det dobbelte i 2050 (U.S.EIA 2020). Det er også estimert basert på en rekke optimistiske antagelser at det kan være mulig med en produksjon på 325 mrd. liter bærekraftig biodrivstoff globalt i 2030 (410 millioner tonn), som kan dekke hele energibehovet til luftfart (uten batterielektriske og hydrogenfly).

Til sammenligning var det innenlandske markedet i USA i 2019 på 98 milliarder liter (U.S.EIA 2019). Dette markedet kan forbruke flere hundre millioner tonn biomasse per år, noe som samsvarer med den nåværende tilgjengeligheten av biomasse i USA på 340 millioner tonn (Langholtz, Stokes, and Eaton 2016). Avhengig av effektiviteten og hvor mye som kan produseres av flydrivstoff fra biomassen, kan sannsynligvis 30-50% av flydrivstoffet i USA dekkes hvis alt av dagens biomasse i USA brukes (12MJ/kg biomasse, 50 % effektivitet og 70 % av hydrokarbonene som flydrivstoff, slate output).

6.1.1 Biomasse i Norge og Norden

Det samlede ressurspotensialet for skogsråstoff i Norge, som ikke anvendes til andre formål og som kan brukes til produksjon av flydrivstoff, er 13 TWh dersom avvirkningen blir den samme fremover som i dag og man utnytter massevirke som i dag eksporteres. Videre kan ressurspotensialet øke til 22 TWh dersom avvirkningen i tillegg økes opp til det bærekraftige volumet skogsbiomasse som kan tas ut fra norske skoger (balansekvantum, se Figur 48). Dette tilsvarer 600 og 1000 mill. liter biodrivstoff, hvorav inntil halvparten kan bli til bærekraftig flydrivstoff (Rambøll, 2017).

Figur 48 – Estimert for produksjon av biodrivstoff til luftfart basert på balansekvantum for biomasse (Rambøll 2017, NMBU 2011)



Figur 48 viser energimengden skogsråstoff som ikke anvendes til andre formål og som kan brukes til produksjon av bærekraftig flydrivstoff ved avvirkning som i dag og avvirkning opp til balanse-kvantum. Potensialet er delt inn i greiner og topper (GROT) og fraksjoner av massevirke som ikke anvendes (massevirke) og som i dag eksporteres.

6.1.2 Biomassetilgang i Europa

Det totale drivstofforbruket fra flyreiser fra Europa i 2030 anslås til rundt 52 mrd. liter (67 Mt). Forutsatt en biomasse med en konvertering for drivstoff på 55%, vil dette kreve 120 Mt (4,8 EJ) biomasse-råstoff. For året 2030 estimerte EU-prosjektet S2Biom i 2014 et biomassepotensial i Europa på over 600 Mt (10,9 - 22,7 EJ) (Khawaja & Janssen, 2014). Innenfor samme område benytter studien *“Scenarios and Preconditions for Renewable Jet Fuel Deployment towards 2030”* en potensiell tilgang på 11,2 EJ per år i 2030 (de Jong, et al., 2017). Det er viktig å merke seg at flere sektorer og bransjer er avhengige av denne biomassen for å redusere sine utslipp. Det er sannsynlig at bare en del av biomassen vil kunne bli levert til transportsektoren, og igjen en liten del tilgjengelig for luftfart. De Jong et al. har beregnet at forventet etterspørsel av biomasse til elektrisitetsproduksjon, varme og veitransport forblir under tilgjengelig biomasse og når et nivå på 60% i 2030, noe som vil være lik 400 Mt (6,7 EJ) (de Jong, et al., 2017). De gjenværende råstoffene (4,5 EJ) kan potensielt brukes til andre sektorer som luftfart (Destination2050).

EUs Joint Research Institute publiserer informasjon om at av alt trevirke som ble brukt i EU (fra både primære og sekundære kilder, enten innenlands eller importert), var volumet ca. 451 millioner kubikkmeter. Dette tilsvarer en energimengde på 2,35EJ, som potensielt kunne bli 20 mrd. liter drivstoff til luftfart via Fischer Tropsch (7% av global etterspørsel, og 40 % av europeisk).

Nesten to tredjedeler (63%) av trevirke som ble høstet i Europa, ble brukt til bioenergiproduksjon i 2015. Primær-trevirke bidro til minst 37% (166 Mm³) av det totale forbruket av tømmer som brukes til energi. Sekundært energivirke, som består av biprodukter fra treforedlingsindustrien, både fast (sagflis, flis osv.) og væske fra masseindustrien (pyrolyseoljer eller tallolje), bearbeidet trebrensel, gjenvunnet tre etter forbruker (fra konstruksjon, renovering og riving, emballasje samt gamle møbler), bidro til minst 49% (222 Mm³) av den totale «energivirke-biomassen» i 2015. En viss mengde tømmer brukes dessuten til energi uten at opprinnelsen er kjent. Denne "ukategoriserte" biomassen fra trevirke og tømmer kan utgjøre så mye som 14% av det totale energiforbruket i 2015 (63 Mm³). EU har tradisjonelt vært nettoimportør av industrielt tømmer. Før finanskrisen varierte importen fra 20 til 26 millioner m³. Siden den gang har de aldri overskredet 16,5 millioner m³ (JRC 2021).

6.1.3 Global tilgang på biomasse for biodrivstoff

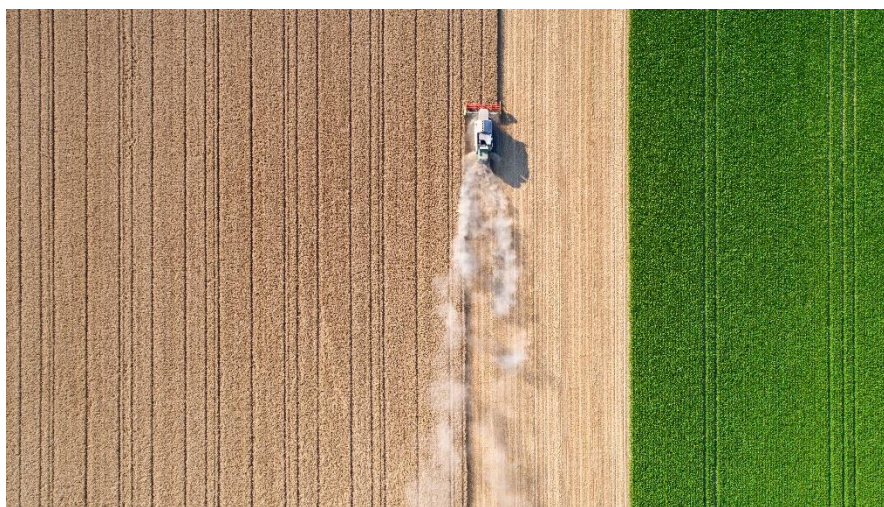
I 2018, ifølge World Bioenergy Association (WBA), var global innenlandsk tilførsel av biomasse 55,6 EJ. Bioenergisektoren har i perioden 2000 - 2018 hatt en årlig vekst på 2%. 85% av tilgangen for biomasse i markedene er fra energivirke, inkludert flis og pellets. Flytende biodrivstoff utgjorde 7%, husholdning og industrielt avfall utgjorde 5% etterfulgt av biogass på 3%. I 2019 ble det produsert 1,9 milliarder m³ energivirke globalt. Afrika og Amerika hadde den høyeste andelen av bioenergi fra energivirke med et bidrag på henholdsvis 36% og 37%. Pellets er en av de raskest voksende bioenergisektorene. I 2019 ble det estimert at sektoren produserer 38,9 millioner tonn pellets globalt. Trekull er også en annen viktig bioenergisektor med betydelige volumer globalt. I 2019 ble det produsert 53,1 millioner tonn trekull, der Afrika utgjorde 65% av den globale produksjonen (WBA 2020).

WBA rapporterer også at i 2018, ble det produsert 160 mrd. liter med biodrivstoff. Bioetanol har den største andelen på 62%, etterfulgt av FAME biodiesel på 26%. Resten av biodrivstoffene inkludert HVO (hydrogenert vegetabilsk olje), fornybar diesel, etanol fra cellulose og trevirke og lignende hadde en andel på 12%. Amerika dominerer produksjonen av biodrivstoff globalt. Nord- og Sør-Amerika produserer til sammen 75% av alt biodrivstoff globalt, mens Europa har en

andel på 14%. I 2018 ble 59,3 milliarder m³ biogass produsert globalt med et tilsvarende energiinnhold på 1,36 EJ. I løpet av 2000 - 2018 opplevde sektoren en årlig vekstrate på 9% (WBA 2020).

Bioenergistatistikk fra WBA, viser altså at 55.6 EJ biomasse brukes globalt. Dersom alt dette ble raffinert til biodrivstoff kan dette tilsvare 800 mrd. liter med biodrivstoff av alle typer med en effektivitet 50% (energi og masse). Hvis dette optimaliseres med en 70% andel flydrivstoff (eng. slate output) kan det utgjøre 560 mrd. liter drivstoff for luftfart hvis alt hadde vært konvertert, dvs. 50% mer enn forventet flydrivstoff-forbruk i 2030 (320-400 mrd. liter per år). Hvis man antar at 70% av all biomasse, som hentes ut globalt er bærekraftig og alt dette produseres mtp. luftfart, kan det dekke ca. 100% av etterspørselen. Dette er lite trolig da mye bioenergi er lokalt for varme, matlaging og ikke egnet for luftfart. Spørsmålet er hvor mye mer biomasse som kan hentes ut bærekraftig, og konkurransesituasjonen fra andre sektorer med betalingsvillighet, samt omsetningskrav (blending mandates) og politiske regulatoriske krav, for å få andelen av biomassen konvertert og maksimert til flydrivstoff.

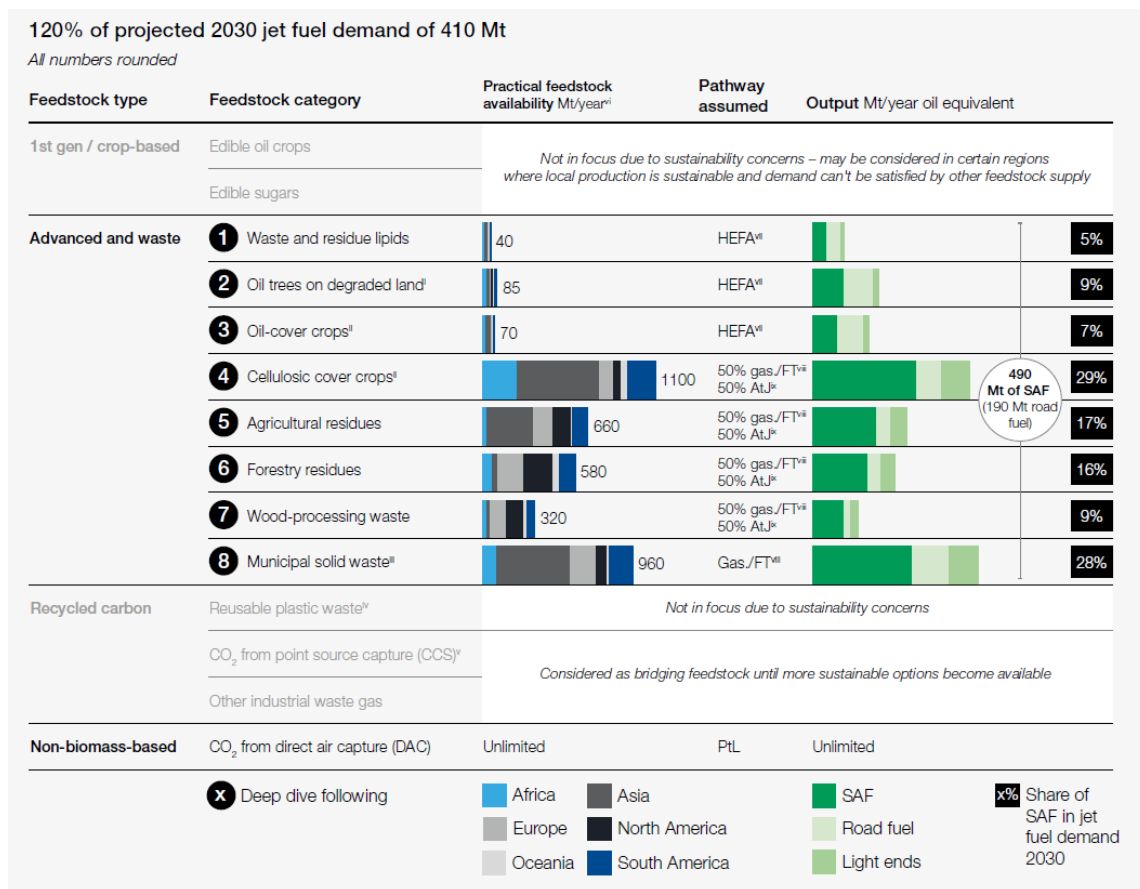
Hvis vi tar utgangspunkt i et overordnet regnestykke for alt massevirke globalt for energiformål, kan vi få en forståelse for hvor mye som må til av dagens verdikjeder for å få levert biodrivstoff til luftfart. Hvis alt virke og tømmer for energiformål (wood fuel), 1,9 mrd. fastkubikkmeter globalt, som antas å ha et energi-innhold 5200 MJ/m³ som for tømmer med 20% fuktighet, hadde blitt konvertert til biodrivstoff med 50% effektivitet, og 70% flydrivstoff (resten andre produkter) vill dette tilsvart ca. 100 mrd. liter flydrivstoff, dvs. ca. 1/3 av forventet forbruk framover. Dette innebærer at uttak av energivirke må økes med minst 3 ganger dagens uttak i verden for å dekke bærekraftig flydrivstoff-behovet globalt.



Figur 49 viser et estimat av hvilke råstoff globalt som kan være tilgjengelig, fra Clean Skies. Metoden for å beregne teoretisk tilgjengelig biomasse fra cellulose i jordbruk og rester fra skogsbruk er basert på McKinsey sin [ACRE løsning](#) (WEF 2020). Modellen Agriculture Commodity Research Engine (ACRE) gir data om global biomassetetthet basert på geospasiale data med en oppløsning på 10x10km, og har blitt brukt til å gi estimater for tilgjengelighet av bærekraftig flydrivstoff-råstoff. Denne bruker antagelse om at helt overordnet, ¼ av totalt dyrkbar mark (arable land) kan praktisk sett brukes for energivækster, hvor 20% er planter for planteoljer, mens 80% er cellulosebasert og energivirke, da sistnevnte er mer egnet for industriell produksjon av bioenergi og biodrivstoff. En viktig antagelse er at disse energivækstene ikke er tilgjengelig per i dag, og det vil ta 5-7 år for å få etablert verdikjedene for storskala produksjon.

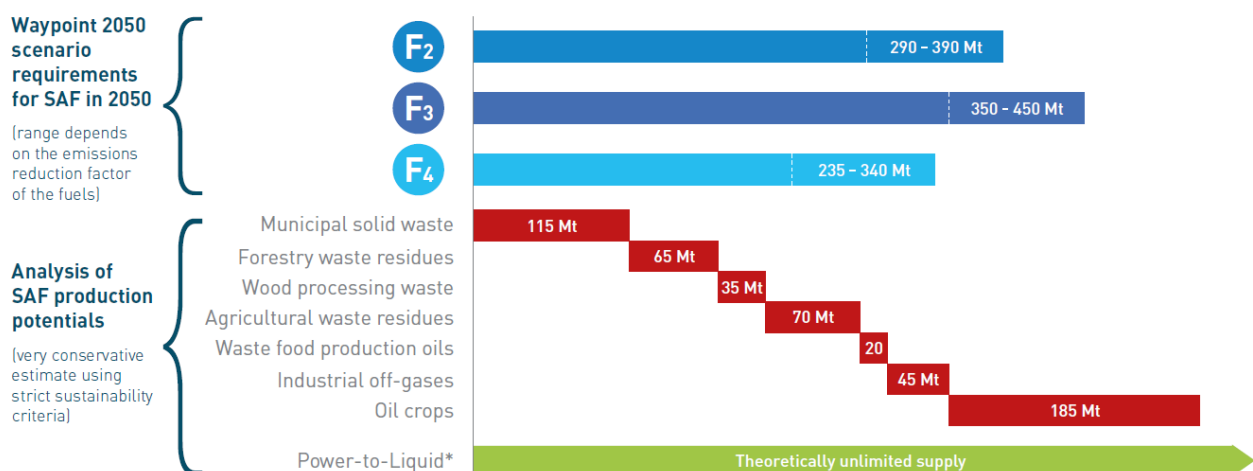
Verdikjedene for sagbruk og papirproduksjon (pulp) har rester og biprodukter som avkapp, sagflis og flis. Ved å bruke de samme kriteriene som for skogbruksrester, kunne 320 millioner tonn råstoff og 35 millioner tonn bærekraftig flydrivstoff produseres ved bruk av gass / FT og AtJ-prosessene (WEF 2020).

Figur 49 – Biomasse tilgjengelig for bærekraftig flydrivstoff hevdes å være nok globalt - McKinsey Energy Insights' Global Energy Perspective, Reference Case July 2020 (WEF 2020, ikke alle detaljer i modell er dokumentert)



Figur 50 viser at for ulike scenarier så kan det være tilstrekkelig biomasse. Det er ukjent om alt dette er regnet som tilgjengelig, eller om det er biogent og bærekraftig. Utslippspunkter fra industri inkluderes også (industrial off-gases), som da sannsynligvis kun er det biogene fra industri.

Figur 50 – Estimer for at tilstrekkelig karbon for ulike scenarier (ATAG 2020)



* Depends on availability and allocation of renewable energy in the grid, as well as technical potential of PtL as an option for aviation.

6.1.4 Energi-vekster og avlinger – første generasjons biodrivstoff – primært for HEFA

Det reviderte fornybardirektivet begrenser bruken av biomasse for mat og fôr (avlinger) til biodrivstoff. Den store utbredelsen av biodrivstoff fra råstoff hentet fra jordbruk har ført til uheldige miljøkonsekvenser i noen regioner. Noen biodrivstoff produsert fra avlingsbaserte kilder har ikke klart å levere de forventede netto reduksjonene av drivstoffutslipp på grunn av indirekte arealbruksendringer (ILUC som avskoging), samtidig som de konkurrerer med mat- og fôrproduksjon og har en negativ innvirkning på biologisk mangfold. Noen energiavlinger kan fremdeles produseres bærekraftig, men økt etterspørsel kan føre til at økningen ikke lenger er bærekraftig.

Enkelte typer av avlingsbasert biomasse som ikke direkte konkurrerer om jordbruksarealer, som f.eks. marginalt skogs- og jordbruksareal, kan være en kilde til noe bærekraftig råstoff for bærekraftig flydrivstoff-produksjon. Disse kildene kan utforskes nærmere. Biomasse fra «cover crops» og ubrukt marginale arealer kan teoretisk sett gi opptil omtrent 10% av det totale behovet for drivstoff i EU innen 2030 (WEF 2020, kommentar 23).

Potensialet for en betydelig økning i produksjonen av energivekster er derfor tvilsomt gitt mulighetskostnadene for arealbruk i en sammenheng med en raskt voksende global befolkning, behov for arealer til matproduksjon, og øke skogplanting for å binde karbon for å redusere klimaendringer.

Det forventes at europeisk politikk skjerpes for å sikre at bruk av energivekster på dyrket mark til biodrivstoff er underlagt høyest mulige bærekraftskriterier, inkludert både en robust vurdering av ILUC og virkninger hvor avlinger for mat og fôr kan fortrenses. Det forventes også strengere krav til vurdering av livssyklusbetraktninger for sammenligning av karbonbinding mellom ulike arealbruk (særlig skogplanting). Det forventes at bærekraftig flydrivstoff produsert fra avlinger som konkurrerer direkte med dedikert land for mat- og fôrproduksjon utelukkes helt (WEF 2020).

Potensialet for produksjon av flydrivstoff fra råstoff fra dyrket mark og jordbruk, dvs. første generasjons biodrivstoff, er ansett som ikke bærekraftig og en begrenset ressurs. Implementeringen av fornybardirektivet har ført til at europeisk transport gradvis har økt forbruket av biodrivstoff fra avlingsbaserte kilder de siste to tiårene. Denne politikken har resultert i en betydelig økt produksjon av avlinger for generering av biodrivstoff i Europa, samt en økning i importerte avlinger. Fra 2012 til 2018 økte EU-medlemslandenes import av palmeolje fra 1,5 til 2,5 millioner tonn og nådde ca. 15% av det totale biodieselforbruket (WEF 2020).

6.1.5 Lipider fra rester og avfall¹¹

Lipider er en fellesbetegnelse for hydrokarboner fra planteoljer, fettstoffer og voks, og brukes hovedsakelig til produksjon av HEFA. Dette er en stor råstoffkilde i bruk i dag, og kan utnyttes i større grad enn i dag, men begrenset til 10% av drivstoff for luftfart (35 MT/år). Den andre store råstoffkategorien for bærekraftig flydrivstoff er rest- og avfallslipider. Dette inkluderer brukte matoljer og animalsk fett (dvs. talg), som definert i vedlegg IX del B i fornybardirektivet, samt andre kilder til spillooljer og fett (WEF 2020).

For øyeblikket skjer størstedelen av bærekraftig flydrivstoff-produksjon gjennom omdanning av vegetabiliske eller spillooljer og fett til flydrivstoff via HEFA-prosessen. HEFA har for tiden den laveste kostnaden, er i størst grad kommersialisert og har det største potensialet for å øke produksjonskapasiteten på kort sikt.

Generelt anses disse råstoffene som bærekraftige, men noen tilfeller er gjenstand for debatt. Alle palmeoljeprodukter, inkludert rester fra prosessering av palmeoljer ([PFAD](#), Palm fatty acid distillate) og kjernefrukter (POME), er kontroversielle i Europa og andre deler av verden. Noen aktører foretrekker ikke å bruke dem i det hele tatt på grunn av risikoen for endring av arealbruk eller utfordringer med å spore opprinnelsen til råmaterialet.

Råstoff for disse verdikjedene står imidlertid overfor en naturlig øvre grense. Potensialet er begrenset av tilførsel av matolje og fett som råstoff da det avhenger av graden av resirkulering av husholdningsavfall, matindustri og tilsvarende i

¹¹ Residual and waste lipids, primært for HEFA

et område. I tillegg er det andre bruksområder for disse råvarene i flere konkurrerende bransjer. Estimer av den totale teoretiske tilgjengeligheten av avfall og rester av lipider indikerer at bærekraftig flydrivstoff produsert fra disse råstoffene kan gi opptil 5% av det globale luftfartsbehovet i 2030 via bærekraftig flydrivstoff, mens europeiske oljer og fett i avfall også kan være et grunnlag for ca. 5% av europeiske etterspørsel etter flydrivstoff (WEF 2020). Når den øvre grensen for bærekraftig flydrivstoff-tilførsel fra spilloljer er nådd, vil imidlertid andre avanserte råvarekilder og deres tilhørende verdikjeder for produksjon være avgjørende for å øke bærekraftig flydrivstoff-volumene til det nivået som kreves for å oppnå utslippsmål for luftfart.

6.1.6 Trevirke og rester av cellulose – for FT og AtJ

For å utvikle bærekraftig flydrivstoff utover de begrensede volumene som er tilgjengelig fra spilloljer og fett, må det utvikles bærekraftig flydrivstoff fra trevirke (lignocellulose) og avfall og rester fra jord- og skogbruk. Disse råstoffene, f.eks. landbruks- og skogbruksrester eller biogent husholdningsavfall, er større i volum enn bærekraftige avlinger og olje / fettavfall og kan derfor understøtte en større vekst i produksjon av bærekraftig flydrivstoff.

De kan også være mer bærekraftige enn energiavlinger med en bedre klimaeffekt, mindre arealbruk og færre konflikter med matproduksjon. Viktige dimensjoner som fortsatt må reguleres nøye inkluderer (E4Tech, Ricardo, 2020):

- Fokus på avfall og rester (f.eks. skog- og jordbruksrester) i stedet for treplantasjer på dedikert dyrket mark
- Forby høsting fra områder med høyt biologisk mangfold, høy jorderosjon og natur-landskap
- Å sørge for tilstrekkelig skog og jordbruksrester blir igjen på stedet for å opprettholde jord- og naturvern
- Ekskludere rester som brukes til konkurrerende bruk som ikke kan erstattes (f.eks. høy og fôr, hortikultur¹²)
- Ekskluderer råstoffrest fra områder med svake institusjoner og høy risiko for korrupsjon, noe som medfører høyere risiko for manglende overholdelse av bærekraftskriterier

Den virkelig bærekraftige tilførselen av trevirke og rester fra skog og jordbruk vil likevel være begrenset. Tatt i betraktning også praktiske begrensninger for høsting og frakt, kan disse råstoffene teoretisk representere tilstrekkelig biomasse til å levere opptil 2/3 av den totale etterspørselen etter flydrivstoff, globalt og i Europa som kan gi CO₂-reduksjoner på mer enn 60% (dvs. RED-II-grensen i Europa). Men etterspørselen etter denne typen råvarer (og alle typer) vil også være fra flere sektorer enn bare luftfart (f.eks. Innen kraft og industri), og tilbudet vil sannsynligvis være lavere enn etterspørselen, noe som krever en prioritering av råstoffet. (ATAG 2020, WEF 2020).

Foreløpig er de teknologiske veiene for å produsere bærekraftig flydrivstoff fra trevirke (lignocellulose) på pilot- og demonstrasjonsstadiet. Selv om flere prosesser som kan håndtere trevirke er godkjent og sertifisert av ASTM, dvs. gassifisering med Fischer-Tropsch (FT) og Alcohol-to-Jet (ATJ), har disse ennå ikke nådd kommersiell produksjon i stor skala. Det kreves målrettet politisk støtte for raskt å bringe disse teknologiene på markedet og øke produksjonskapasiteten. Dette er en forutsetning for storstilt bærekraftig flydrivstoff-opptak i luftfart i løpet av 10-15 år.

6.2 Marin biomasse for biodrivstoff

Industrien for marin biomasse for biodrivstoff er meget begrenset, men flere forskningsprogram har piloter for å teste produksjon. Det eksisterer en stor industri for dyrking av tang og tare for mat, og mikroalger for farmasøytisk industri. Industrien er sterkt voksende i Europa og Norge. Norge har også et stort kompetansemiljø for marin biomasse.

¹² [Hortikultur definisjon](#) (UiO): hagebruk med kultivering og dyrking av blomster, prydplanter, frukt, bær, nøtter, grønnsaker og urter på friland eller i veksthus (drivhus)

En verdikjede for bærekraftig flydrivstoff er godkjent for mikroalger, riktignok kun én type alger så langt (*Botryococcus braunii*), og kun for 10% innblanding da den har blitt godkjent i en forenklet godkjenningssprosess. For tang og tare (makroalger) er det ikke en godkjent prosess for bærekraftig flydrivstoff. Likevel kan muligens gassifisering og Fischer-Tropsch benyttes hvis tangen kan tørkes effektivt og saltet ikke er til et hinder for prosesseringen. Ruten alkohol-to-jet kan også ha et potensiale hvis sukker-artene i tangen kan brytes ned og videreføres, men dette er høyst usikkert. En mer egnet prosess er hydrotermolyse, som nylig er blitt godkjent prosess. HTL kan håndtere våte og komplekse biomasser, men marine ressurser må testes ut.

Behovet for bærekraftig produksjon av mat fra havet har aktualisert dyrking av tang og tare. Selv om potensialet for dyrking er stort i Norge er produksjonen på prøvestadiet på grunn av utfordringer knyttet til marked, produksjon, miljø og forvaltning. Havforskningsinstituttet, SINTEF og NMBU har sammen undersøkt mulighetene for utvikling av en bærekraftig ny havnæring og hva som skal til for å lykkes med lønnsom produksjon av alger. Rapporten kommer også med anbefalinger i forhold til å initiere forskning og innovasjon som kan stimulere til utvikling av en lønnsom og bærekraftig taredyrkingsindustri i Norge (Sintef: Mot en ny havnæring for tare? November 2020).

I Norge har antall [tillatelser for taredyrking](#) gått fra 60 i 2014 til 703 i 2020. Norsk Taredyrkerforening og Algenettverk Nord – tidligere to ulike bedriftsnettverk - har nå samlet seg i [Norwegian Seaweed Association](#). Både i forskning og industri er det betydelig oppmerksomhet på å effektivisere og skalere produksjon, det er etablert en kunnskapsplattform for bioraffineri for marine ressurser, [The Norwegian Seaweed Biorefinery Platform](#), og det etableres industriklynger. Potensialet ved storskalaproduksjon til havs er stor. En rekke industrier har interesser i råstoffet og hva det kan tilby. Råstoff fra marin biomasse kan brukes i prosessindustri for kjemikalier og materialer, råstoff for bioenergi og biodrivstoff. I tillegg er det mulig med indirekte synergier som samlokalisering for energiproduksjon med flytende solenergi og havvind sammen med tare-plantasjer (Bellona 2021).

I Europa er det demonstrert drivstoff fra tare til biler hvor forskningsprogrammet har hevet den teknologiske modenheten fra TRL nivå 3 til 5, og spår at det kan være mulig å få etablert produksjon i større skala innen 2030 ([Macrofuel](#)). Makroalger løftes frem som et råstoff i pågående forskningsprosjekter for nye verdikjeder for bærekraftig flydrivstoff ([Highfly](#)¹³), hvor blant annet SkyNRG og Boeing er med i [prosjektet](#). Det er nasjonale satsinger på taredyrking i flere land hvor interesseorganisasjonen [Seaweed Europe](#) koordinerer innsatsen. USA har også satset på å utvikle storskala dyrking og innhøsting av tare for biodrivstoff¹⁴. For å kunne nå utslippsmål ved hjelp av biomasse, må alle bærekraftige ressurser utnyttes, også de marine, som i mange tilfeller er mer umodne. For å utnytte marine biomasser i større grad må alle interessenter bidra for å fremme forskning og utvikling ([DNV 2012](#)).



¹³ HIGee to Furanic-based jet Fuel technology

¹⁴ [ARPA-E Marine Bioenergy](#) og [Marine Bioenergy Inc.](#)

6.3 Hydrogen: grønt og lavkarbon

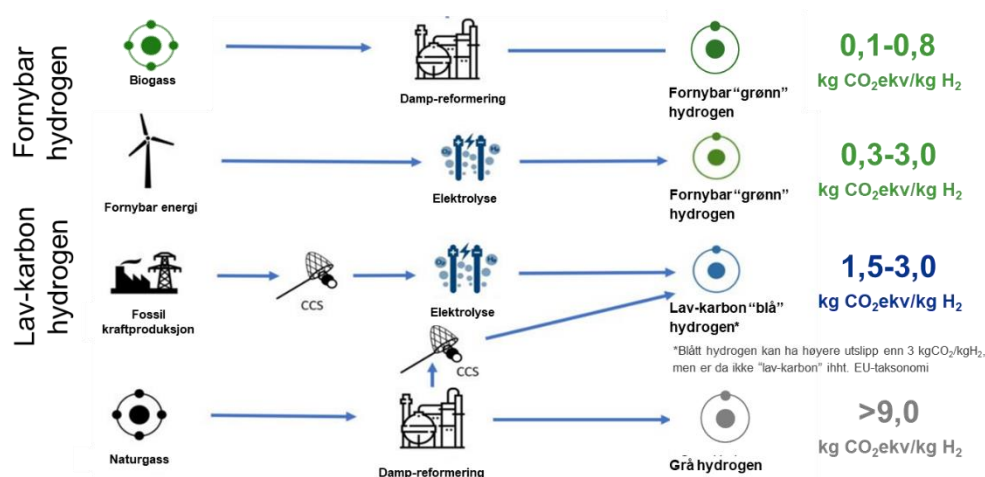
Fornybart hydrogen trengs i store mengder for en dekarbonisering av samfunnet der elektrifisering ikke er mulig.

Hydrogen trengs også for alle biodrivstoff, og trengs i ytterligere større mengder for bærekraftig flydrivstoff for å øke produksjonen av lette fraksjoner (parafiner) fra komplekse hydrokarboner. I biodrivstoff for luftfart er ulike petrokjemiske komponenter¹⁵ ikke tillatt av operasjonelle og sikkerhetsmessige årsaker, og må brytes opp med hydrogen.

I Nord-Amerika og Europa er den billigste kilden til hydrogen gass fra dampreforming av metan fra naturgass, men har da høye utslipp. Et slikt reformeringsanlegg for grå hydrogen produserer 9-10 kg CO₂ for hver kilo hydrogen, mens blå hydrogen kan ha det halve eller ned mot 1 kgCO₂/kgH₂ (IEA 2019). Grønt hydrogen fra elektrolyse kan ha like høye utslipp som grått hvis elektrisiteten har et høyt fotavtrykk, eller lavere utslipp enn 1 kgCO₂/kgH₂ hvis elektrisiteten er helt fornybar. Som Figur 51 viser, har ulike hydrogen-prosesser forskjellig mengde utslipp per kilo hydrogen.

Hydrogen fra elektrolyse fra fornybar kraft har lavest utslipp sammen med prosessering av biogass. Blå hydrogen, laget av naturgass med karbonfangst, kan ha halvparten eller ned til 10-15% av utslippet fra konvensjonell grå hydrogen. Hydrogen fra kull har enda høyere utslipp enn grå. Nye fornybare og kostnadseffektive prosesser for hydrogen kan føre til reduserte karbon-utslipp for både konvensjonelle petroleumsraffinerier og bioraffinerier. Det er ambisiøse planer for å fase inn fornybart og lavkarbon hydrogen i eksisterende gassinfrastruktur, f.eks. med EU Green Deal og den tilhørende hydrogenstrategien om 2x40GW installert elektrolyse for hydrogen, samt USA, Japan, Sør-Korea, Kina og Australia m.fl.

Figur 51 – CO₂-utslipp for hydrogen-verdikjeder, omtrentlige tall (DNV-analyse)



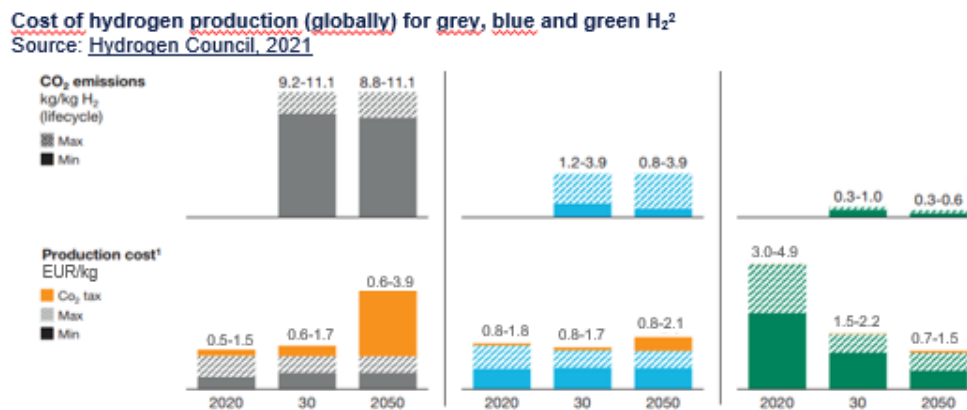
Hydrogen må produseres i store mengder for raffinering av biodrivstoff, produksjon av efuels, og lavkarbon fossile kjemikalier og drivstoff, før det også eventuelt kan benyttes i økende grad direkte som drivstoff i fly (enten brenselcelle og elektrisk motor, eller forbrenning i nye typer jet-motorer). Grønt hydrogen er forventet å bli konkurransedyktig med grå hydrogen med utslippskostnader i tidsrommet 2025-2030 i enkelte land og områder av tre hovedgrunner og drivere:

- Kostnaden for elektrolysører og fornybar kraftproduksjon vil synke med robotisering og industrialisering av produksjonsprosessene
- Antall timer med lave strømpriser vil øke med mer variabel storskala fornybar kraft, som on- og offshore vind
- Kostnad for CO₂-utslipp for grå hydrogen vil øke (dampreforming av naturgass uten karbonfangst)

¹⁵ olefiner og "heteroatoms" som oksygen

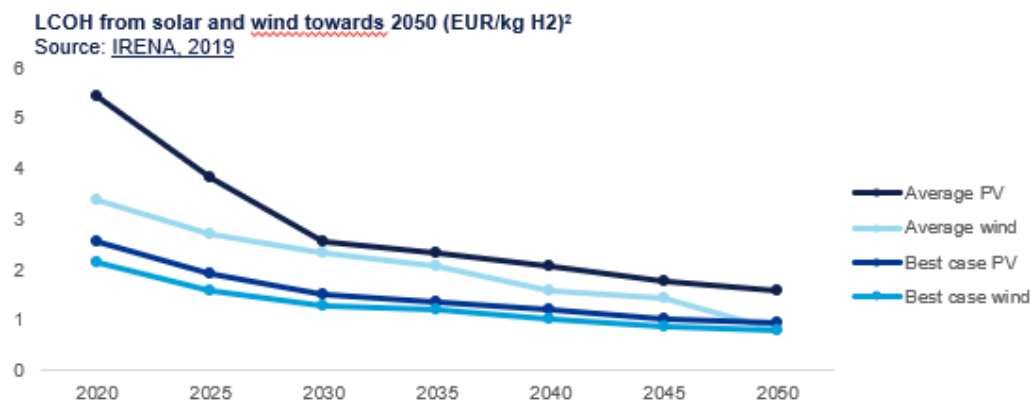
Figur 52 viser utslippsnivåer og relativt optimistiske estimater for fremtidige kostnadsnivåer for ulike kategorier av hydrogen. Det er verdt å merke seg at de fleste hydrogenprosjekter i Europa har som målsetning å oppnå mindre enn 3 kgCO₂/kgH₂ for å kunne kvalifisere for rammeverk innen grønn finans og støtte fra ulike EU fond, ihht. EU taxonomi.

Figur 52 – Produksjonskostnader og utslipp for grå, blå og grønn hydrogen (Hydrogen Council 2021)



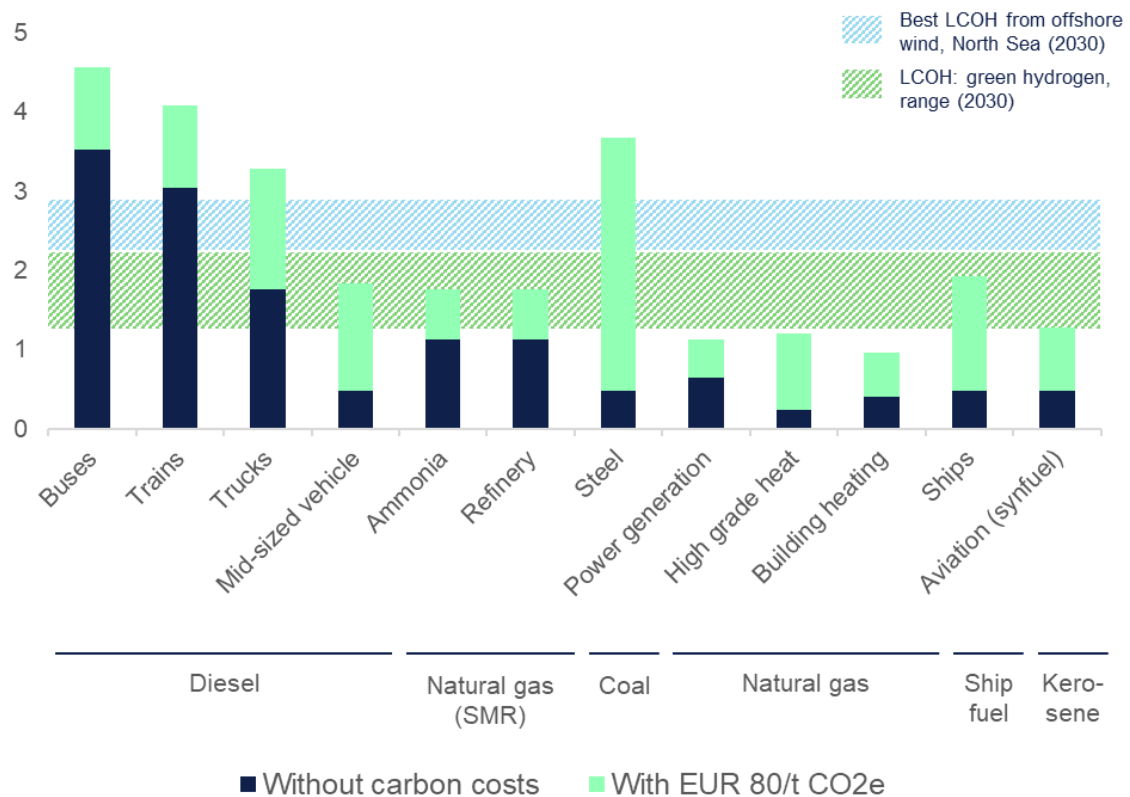
Figur 53 viser hvilke produksjonskostnader som kan forventes i andre noe mindre optimistiske scenarier.

Figur 53 – Kostnadsreduksjoner for hydrogen, scenarier basert på utrulling av fornybar vind og sol



Figur 54 viser hvilket kostnadsnivå som ulike sektorer trenger for å nå samme kostnadspareitet med eksisterende løsninger for energi, innsatsfaktorer og drivstoff. Uten kostnad for karbonutslipp er grønt hydrogen bare konkurransedyktig innen tungtransport på vei. En kostnad for karbon på EUR 80 per tonn CO₂ekv. kan føre til at flere sektorer kan benytte grønt hydrogen i motsetning til grå hydrogen. Luftfart er en av sektorene med lavest betalingsvillighet innen transport pga. store driftskostnader fra drivstoff med lave marginer fra en intensiv global priskonkurranse, og vil trolig kreve noe høyere karbonkostnader enn 80 EUR/tonn CO₂.

Figur 54 - Nødvendig produksjonskostnad for grønt hydrogen for breakeven med konvensjonelle løsninger mot LCOH i 2030 (Hydrogen Council 2021)



6.4 Karbondioksid for efuels

Karbonfangst og bruk av CO₂ fanget fra utslipp, men også direkte fra atmosfæren har de siste årene fått mye oppmerksomhet. Selskaper som f.eks. [Microsoft og Climeworks](#) og andre investerer i DAC, og aktører som Aker Clean Carbon utvikler og standardiserer karbonfangst fra røykgass som fører til kostnadsreduksjoner og oppskalering med økt teknisk modenhet og kommersialisering. CO₂ inneholder riktignok ingen energi, og all energien for å fange CO₂ må komme fra en annen energikilde. All energien som skal inn i elektrofuels må også komme fra en ekstern kilde som hydrogen eller elektroner. Elektrisitet kan brukes til å oppgradere karbon som fremdeles inneholder energi.

7 OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

Bærekraftig flydrivstoff¹⁶ vil ha en avgjørende rolle for å nå mål om fossilfri luftfart eller store utslippskutt innen 2030 og 2050, spesielt for langdistanse-flyvninger¹⁷. Dette drivstoffet kan produseres fra ulik biomasse via syv godkjente produksjons-prosesser med 10-50% innblanding i dagens infrastruktur for fossile drivstoff. Flere prosesser er under utvikling for å bli godkjent, som kan muliggjøre flere typer biomasse. Det arbeides også med å godkjenne en innblanding på 100%.

En utvidelse av begrepet bærekraftig drivstoff for luftfart innebærer også efuels/elektrofuels, og co-prosessering av bærekraftige bioråoljer i eksisterende raffinerier. Karakterisk for elektrofuels er at det produseres med elektrisitet, hydrogen, og karbondioksid. Alle råstoffene og innsatsfaktorene til efuels må også være fornybare og lavkarbon for å kunne defineres som bærekraftige.

De siste 10-15 årene har det ikke manglet på ambisiøse planer for bærekraftig biodrivstoff for luftfart, men disse har i liten grad blitt materialisert. De store produksjonsanleggene har ikke blitt etablert, men det er et taktskifte med flere demonstrasjonsanlegg under etablering etter lengre tids planlegging og mindre piloter, også i Norge og Norden. Tilgang på store mengder bærekraftig biomasse til en lav nok kostnad har vist seg å være utfordrende. Dette gjelder biomasse fra både skog- og jordbruk samt havbruk med tang og tare eller mikroalger, og dokumentasjon på tilstrekkelig klimaeffekt. Tilgjengelighet og kostnader forbedres stadig for innsatsfaktorer som fornybar kraft, grønn og lavkarbon hydrogen, samt ressurstilgang på næringsstoffer, men det tar tid for å oppnå storskala, bærekraft og kostnadseffektivitet. Konkurransesituasjonen for biomasse har dessuten tilspisset seg ved at både veitransport og kraft-varme-verk basert på kull og husholdningsavfall har en høyere betalingsvillighet for biomassen enn for videre raffinering til avanserte biodrivstoff.

Alle aktørene i hele verdikjeden må bidra til å få etablert produksjon, også i større grad med flere aktører enn en fossil verdikjede i mange sammenhenger som kun har noen få private aktører. Oppskalering og distribusjon av et nytt drivstoff, men også et drivstoff for innblanding, krever deltakelse og involvering fra mange interessenter langs verdikjeden - fra råvareleverandører (bønder, aktører med avfall, skogbruk), drivstoffdistributører og leverandører, flyplasser og flyselskaper, bank og finans-aktører, lokalsamfunn (der drivstoff produseres og brukes), og til slutt forbrukere. Hver interessentgruppe må se en økonomisk fordel eller i det minste en opplevd samfunnsmessig, eller annen langsiktig fordel for at verdikjeden skal etableres.

Bærekraftige flydrivstoff har potensiale for å redusere CO₂-utslipp med 30- 90% sammenlignet med fossilt flydrivstoff. En del verdikjeder har mindre utslippsreduksjoner enn dette. Utslipp av partikler (PM) kan reduseres med opptil 90%, og alt svovel utslipp (SO_x). Bærekraftig flydrivstoff kan også ha indirekte ringvirkninger som å øke energisikkerheten og bidra til økonomisk utvikling med lokale arbeidsplasser, industriutvikling, synergier for arealbruk, samt forskning og utvikling innen bioøkonomi med hydrogen og mer sirkulære forretningsmodeller.

For å muliggjøre bruk av bærekraftig flydrivstoff i stor skala, må flere barrierer løses, hvor produksjonskostnader er det viktigste, men tilgjengelighet for både innsatsfaktorene bærekraftig biomasse og lav-karbon hydrogen (grønt og blått) er helt sentralt. Hydrogen trengs for å raffinere biomasse og biooljer, men også i økt omfang for større andeler av lette fraksjoner som flydrivstoff, typisk 4-10% av massen tilført. En parallell utvikling av mer fornybar kraftproduksjon fra storskala sol og vind, varmepumper som reduserer biobasert varmeproduksjon, lavkarbon og grønn hydrogen bidrar både til at karboneffektiviteten og utslippsreduksjonene i verdikjedene økes. Karboneffektivitet for verdikjeden innebærer at mer av det biogene karbonet omdannes fra biomasse til biodrivstoff, og brukes i mindre grad til prosessenergi for raffinering.

Dagens produksjon av biodrivstoff for luftfart utgjør mindre enn 0,05% av etterspørselen pre-korona. Produksjonen forventes å øke raskt fra små volumer, med noen få kommersielle og flere større

¹⁶ Flytende drop-in kvalitet, spesifikasjoner ihht. Jet A-1 parafiner, omtales som bærekraftig flydrivstoff – sustainable aviation fuel, og inkluderer da biodrivstoff og efuels

¹⁷ Hydrogen- og batterielektriske fly vil også være viktige tiltak for klimaeffekt i luftfart, men omtales ikke i dette teknologiveikartet.

demonstrasjonsanlegg under planlegging. Drivstoff basert på planteoljer, HEFA - *Hydro processed esters and fatty acids*, er for tiden det mest tilgjengelige biodrivstoffet for luftfart, og utgjør mer enn 95% av biobaserte flydrivstoff.

Produksjon av bærekraftig flydrivstoff, og primært HEFA har økt fra 0,3 mill. liter per år (2013-2015) til 6,5 mill. liter per år i 2016-2018 (ICAO). I Norden produseres av Neste 125 mill. liter HEFA per år. Til sammenligning ble det i 2019 før korona brukt globalt opp mot 400 milliarder liter per år konvensjonelt fossilt drivstoff (IEA, 325 Mtoe/år). Dette er nå i 2021 nærmere halvert.

Biobaserte produksjonsprosesser er fortsatt under utvikling med høye produksjonskostnader, 3-5 ganger høyere enn fossil produksjonskostnad for de mest modne verdikjedene, men opptil mer enn 10 ganger høyere for de minst modne. Totale volumer av bærekraftig flydrivstoff i Norge forventes i 2030 å kunne bli 50 mill. liter per år i 2025, og 300 mill. liter per år. Visjonene fra fem aktører ligger på over 790 mill. liter per år. Dette tilsvarer halvparten av forventet forbruk av flydrivstoff i Norge (pre-korona). Forbruket av biodrivstoff i 2030 i Norden og Europa forventes å øke til 30% av forbruket basert på omsetningskrav. Dette kan utgjøre opp 4000-5000 mill. liter/år og 6% av forbruket i Europa. EU diskuterer omsetningskrav på 2,5% i 2025, og 5% i 2030, samt at flere land har høyere nasjonale krav opp mot 30%. Avtaler om forpliktende forbruk av biodrivstoff fra flyselskaper («signed offtake») er estimert til 1300 mill. liter per år, ca. 10.000 mill. liter for avtaleperioden. Luftfartsbransjen i USA har nylig uttrykt at de vil forplikte seg til 2 mrd. gallons i 2030, ca. 10% av forbruket i USA.

Tilgjengelig bærekraftig biomasse Norge, Norden, Europa, USA, og globalt antas er tilstrekkelig i flere regioner, men flere produksjonsruter kan kun dekke opptil 10-60% og det forutsettes at nye råstoffprosesser utvikles for å oppnå 100% tilgang. For å sette det i perspektiv så må alt tømmer som brukes globalt til bioenergi i dag oppskaleres med 300% for å kunne dekke alt forbruk av flydrivstoff. I Norge kan kun 30% av drivstoff-forbruket til luftfart dekkes av biomasse fra først og fremst sidestrømmer fra skogbruk. Dette er basert på betraktninger om et balansekvantum («sustainable yield») hvor mengdene av biomasse kan vokse tilbake i et like stort tempo som det forbrukes, men også at tre- og energivirke brukes til andre formål, og områder beskyttes for å oppfylle en bærekraftig forvaltning. Marin biomasse har et potensiale for økt bruk i luftfart da en rute for mikroalger og en rute for våt biomasse har blitt godkjent i 2020. Flere forskningsprogram og initiativer for storskala taredyrking, samt nye godkjente prosesser for hydrotermolyse kan på lengre sikt ha et potensiale for konvertering av våt biomasse til flydrivstoff.

Efuels har et potensiale for lavere utslipp og mindre utfordringer med bærekraft relatert til biomasse enn biodrivstoff, men har sine utfordringer med tilgjengelighet for bærekraftig CO₂, og et høyt energiforbruk med stort behov for mye fornybar kraft. efuels, som også omtales som elektrofuels eller Power-to-Liquid (PtL), kan produseres ved hjelp av fornybar elektrisitet, hydrogen fra elektrolyse av vann basert på fornybar elektrisitet, og bærekraftig CO₂. FT-prosessen, Fischer-Tropsch, med syntesegass kan da benyttes for å produsere drivstoffet. Det er ikke funnet god dokumentasjon på at anlegg som produserer efuels er godkjent for luftfart og innblanding. Mange av efuels-aktørene, også de norske, benytter fosilt CO₂ slik disse i mange tilfeller har en begrenset klimaeffekt.

Forskjellen mellom biodrivstoff og efuels er hovedsakelig at biobasert drivstoff bruker biomasse til prosessenergi og hydrogen, mens efuels fanger CO₂ fra atmosfæren og utslipp, og mer kraft og hydrogen til de samme formålene. Enkelt forklart innebærer dette at prosessen er mer karboneffektiv hvis biomasse gassifiseres, dvs. at mer biogent karbon fra biomassen ender opp i tanken på flyet. efuels kan også benytte atmosfærisk CO₂, eller fra kjemiske prosesser og røykgass fra forbrenning av biomasse, men det er energikrevende å fange CO₂. efuels forventes å kunne ha høyere klimaeffekt enn flere av biodrivstoffene på lengre sikt når CO₂-fangst-prosessene utvikles og kostnadene for fornybar energi og hydrogen reduseres. Prosessene utnytter også i stor grad dagens raffinerier. Efuels har likevel de samme utfordringene som biobaserte syntetiske drivstoff som innebærer å få tak i store mengder fornybar kraft, hydrogen og bærekraftig karbon til en akseptabel kostnad.

Bærekraft med LCA-metode og rammeverk for både beregninger og regnskapsføring av klimagassutslipp forventes å bli vesentlig forbedret og tydeligere i europeisk sammenheng i løpet av 2021

Overordnet benyttes bærekrafts-definisjonen til ICAO (og ATAG), samt for biomasse i fornybardirektivet til EU, som

utgangspunkt for bærekraftig biodrivstoff til luftfart. For biomasse er bærekraftskriteriene i EU definert i fornybardirektivet (RED II). Dette er hovedsakelig basert på reduserte klimagassutslipp i et livssyklusperspektiv, og tak på råstoff som kan ha indirekte arealbruksendringer (ILUC). Analysene av bærekraftig biodrivstoff for luftfart vurderer derfor «avanserte råstoff og biomasse» laget av biomasse-rester, biomasse som ikke konkurrerer med matproduksjon, lavkarbon hydrogen og fornybar elektrisitet.

Metoder for livssyklusanalyser (LCA life cycle assessments) utføres i mange tilfeller med uklare forutsetninger, systemgrenser og datagrunnlag. ICAO og Corsia-rammeverket har publisert referanseverdier som kan gi en pekepinn på hvor stor klimaeffekt ulike teknologier og råstoff kan ha. Et nytt rammeverk, eller tydeligere veiledninger, kan forventes i forbindelse med fornybardirektivet og grønn finans innenfor EU taksonomi er på høring og forventes å bli avklart i løpet av 2021.

Bærekraftige flydrivstoff kan ha et lavt netto-null utslipp for luftfart hvis CO₂-utslippet fra produksjonsprosessen og bruk absorberes i kretsløpet raskt nok. Med effektive produksjonsprosesser og karbonfangst hvor det fossile karbonet går til permanent lagring, og biogent CO₂-utslipp fanges for efuels, kan klimanytten for bærekraftige flydrivstoff bli høy. Det motsatte kan også være tilfellet, med høye CO₂-utslipp i verdikjeden hvis ikke bærekraftig biomasse, fornybar energi og hydrogen benyttes.



8 REFERANSER

- A4E, ACI, ASD, era, canso. (2021). *Destination 2050 - A route to net zero European aviation*.
- Airlines for America. (2021). *Major U.S. Airlines Commit to Net-Zero Carbon Emission by 2050*. Retrieved from <https://www.airlines.org/news/major-u-s-airlines-commit-to-net-zero-carbon-emissions-by-2050/>
- Airport World. (2021). *Plans for pioneering new sustainable aviation fuel plant in Rotterdam*. Retrieved from <https://airport-world.com/plans-for-pioneering-new-sustainable-aviation-fuel-plant-in-rotterdam/>
- ARENA. (2014). *Commercial Readiness Index for Renewable Energy Sectors*. Australian Renewable Energy Agency - Australian Government.
- ATAG - Air Transport Action Group. (2020). *Waypoint 2050 - Balancing growth in connectivity with a comprehensive global air transport response to the climate emergency*. Geneva: Air Transport Action Group.
- Avinor. (2020). *Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart* (Avinor, SAS, Norwegian, Widerøe, LO og NHO Luftfart).
- Barclays. (2021). *Biofuels 2.0 - A critical bridge to net zero*.
- Bioenergy International. (2019). *Cortus Energy and Swedish Biofuels planing world's first biojet fuel plant based on forest raw materials*. Retrieved from <https://bioenergyinternational.com/biofuels-oils/cortus-energy-and-swedish-biofuels-planning-worlds-first-bio-jet-fuel-plant-based-on-forest-raw-materials>
- Biofuels international. (2021, March). *Shell's Rhineland refinery to produce SAF*. Retrieved from <https://biofuels-news.com/news/shells-rhineland-refinery-to-produce-saf/>
- Biozin. (2021). *Biozin - Om oss*. Retrieved from <http://biozin.no/#omoss>
- Dansk Energi. (2020). *Anbefalinger til en dansk strategi for Power-to-X*.
- DENA. (2019). *Powerfuels in Aviation*.
- E4Tech, Ricardo. (2020). *Targeted Aviation Advanced Biofuels Demonstration Competition - Feasibility Study*. Department for Transport, UK.
- EASA. (2019). *Sustainable Aviation Fuel 'Monitoring System'*.
- EU Commission. (2021). *Annex to the Commission Delegated Regulation (EU) .../... supplementing Regulation (EU) 2020/852*. Brussels: EU Commission.
- European Commission. (2020). *Sustainable Aviation Fuels Virtual Roundtable*.
- ICAO. (2021). *ICAO GFAAF Projects*. Retrieved from <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/InitiativesAndProjectsDetails.aspx?ProjectID=53>
- ICAO GFAAF. (2021). *Offtake Agreements*. Retrieved from <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Offtake-Agreements.aspx>
- LBST – Ludwig-Bölkow-Systemtechnik. (2016). *Power-to-Liquids - Potentials and Perspectives for the Future Renewable*. German Environment Agency.
- Neste. (2021). *Neste's role in sustainable aviation*. Retrieved from <https://www.neste.com/products/all-products/neste-my-sustainable-aviation-fuel#8417b41b>
- Neste. (2021). *Neste's role in sustainable aviation*. Retrieved from <https://www.neste.com/products/all-products/neste-my-sustainable-aviation-fuel#8417b41b>
- NISA, NIRAS, SDU. (2019). *Nordic GTL - a pre-feasibility study on sustainable aviation fuel from biogas, hydrogen and CO2*. Retrieved from <https://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2019/10/Nordic-aviation-fuel-production-28-10-2019-final.pdf>
- Nordic Blue Crude. (2021). *Nordic Blue Crude*. Retrieved from <https://nordicbluecrude.no/>
- Nordic Energy Research. (2020). *Sustainable Jet Fuel for Aviation*.
- Norsk e-fuel. (2021). *Norsk e-Fuel is planning Europe's first commercial plant*. Retrieved from Norsk e-Fuel: <https://www.norsk-e-fuel.com/en/>
- Norsk klimastiftelse. (2020). *<2°C Temanotat. Hva er e-fuel? Begrensninger og muligheter*.
- PNNL & NREL. (2020). *Sustainable Aviation Fuel - Review of Technical Pathways*. U.S. Department of Energy.
- Prosess21. (2020). *P21 Sirkulærøkonomi Sluttrapport*. Retrieved from https://www.prosess21.no/contentassets/dc8d4cb05c124ac593cc8295c608834f/p21_sluttrapport_sirkularokonomi.pdf
- Rambøll. (2013). *Utredning, Bærekraftig biodrivstoff for luftfart*.
- Rambøll. (2017). *Bærekraftig drivstoff til luftfart, Status 2017*.
- Regjeringens klimapartnerskaber. (2020). *Partnerskab for luftfart, Afrapporteret 16. marts 2020*.
- Silva Green Fuel. (2021). *Silva Green Fuel*. Retrieved from <https://www.silvagreengreenfuel.no/>
- SOU. (2019). *Biojet får flyget*.
- St1. (2019). *St1 constructs a biorefinery to produce renewable diesel and jet fuel*. Retrieved from <https://www.st1.com/st1-constructs-a-biorefinery-to-produce-renewable-diesel-and-jet-fuel>
- Total. (2021). *Total begins producing sustainable aviation fuels in France*. Retrieved from <https://www.total.com/media/news/press-releases/total-begins-producing-sustainable-aviation-fuel-in-france>
- WDB. (2021). *WDB Action Programme*.
- WEF. (2020). *Clean Skies for Tomorrow, Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation*. World Economic Forum/McKinsey.

9 VEDLEGG - DETALJER OM GODKJENTE VERDIKJEDER OG TEKNOLOGIER

To organisasjoner har tatt hovedrollen i å definere og vedlikeholde spesifikasjoner for sivilt flydrivstoff: American Society for Testing and Materials (ASTM) og Storbritannias forsvarsdepartement (MOD). Spesifikasjonene gitt av disse to organisasjonene er veldig like, men ikke identiske. Mange andre land utsteder sine egne nasjonale spesifikasjoner for flydrivstoff; disse er nesten eller helt identiske med enten ASTM- eller MOD-spesifikasjonene. I Commonwealth of Independent States (CIS) og deler av Øst-Europa er flydrivstoff dekket av GOST-spesifikasjoner ([Chevron](#) 2016).

9.1 Gassifisering med Fischer-Tropsch (FT)

Den første kommersielle flyturen med en 50/50 blanding av naturgassbasert FT og fossilt Jet A-1 var i 2009¹⁸. FT-drivstoff for luftfart basert på fossilt kull har riktignok vært brukt siden 1999¹⁹. FT-prosessen har vært kjent og utviklet siden 1920-tallet, men først etter 2009 har biomasse i FT-prosessen for luftfart vært godkjent.

FT-prosessen kan ta både fossilt og biobasert karbonholdig materiale. Prosessen med gassifisering bryter ned biomassen til gassene hydrogen og karbonmonoksid (syntesegass). FT-syntese kombinerer deretter disse kjemikaliene i bærekraftig flydrivstoff og andre drivstoff. To forskjellige FT-prosesser er hittil sertifisert (av ASTM). En av FT-prosessen produserer syntetisk parafiner (SPK, synthetic paraffinic kerosene), mens en annen produserer ekstra aromatiske forbindelser (SAK, synthetic aromatic kerosene). Begge prosessene kan bruke hvilket som helst karbonholdig utgangsmateriale, i henhold til spesifikasjonen i standarden. Maksimalt blandingsforhold for begge alternativene er 50%. ASTM-standard D7566 beskriver spesifikasjonene for SPK i ASTM Annex 1, og SAK i Annex 4.

9.1.1 Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene (FT-SPK)

Tabellen under viser et sammendrag av verdikjeden for drivstoffet.

Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene (FT-SPK) (Annex 1)			
Sertifisert	2009	Innblanding, maks:	50%
Råstoff og produkter som prosesseres videre	Syntesegass (en blanding av karbonmonoksid og hydrogen) produseres av gassifisering av biomasse, f.eks. husholdningsavfall, biorester fra jordbruk og skogbruk, trevirke og planter, men kan også produseres fra ikke-bærekraftige råstoff som fossil gass og kull. Råstoffet gassifiseres ved høye temperaturer (1200 to 1600 grader Celsius), som bryter ned biomassen til syntesegass og noe aske. Gassblandingen separeres og renses og prosesseres til lengre hydrokarboner som voks. Syngassen kan også komme fra andre industrielle prosesser.		
Prosess Process/Product Description	Fischer-Tropsch (FT) synteseprosessen er en katalytisk kjemisk prosess (catalyzed chemical reaction) hvor syntesegassen prosesseres til hydrokarboner i væskeform ved hjelp av en katalysator kobolt eller jern. Voksen brytes ned (cracked and isomerized) for å produsere drivstoff som er tilnærmet lik fossil flydrivstoff. FT-prosessen produserer riktignok ikke cyclo-parafiner og aromatiske forbindelser som finnes i fossil flydrivstoff.		

¹⁸ Flight Global (2009): Qatar Airways makes world's first gas-to liquid-fuelled revenue flight

¹⁹ Imperial College (2014): Establishing a European renewable jet fuel supply chain: the techno-economic potential of biomass conversion technologies.

9.1.2 Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene (FT-SPK/A)

Tabellen under viser et sammendrag av verdikjeden for drivstoffet.

Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene with Aromatics (FT-SPK/A) (Annex A4)			
Sertifisert	2015	Innblanding, maks:	50%
Råstoff	Som over (Annex A1)		
Prosess Process/Product Description	Proessen benytter FT-proessen samt alkylation av lette aromater (hovedsakelig benzen) for å produsere hydrokarboner med aromater som kreves for å sikre at pakninger sveller i flyets drivstoffsysttem, for å forhindre lekkasjer. FT-SPK/A proessen produserer drivstoff som har en sammensetning som har kjemiske egenskaper som er mer lik fossile parafiner som brukes for flydrivstoff.		

9.2 Foredling av biooljer, estere og fettsyrer (HEFA)

HEFA-proessen (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) innebærer at vegetabiliske oljer, animalske oljer eller fett foredles til flydrivstoff (bærekraftig flydrivstoff) gjennom en prosess som bruker 4-10% masseprosent hydrogen (hydrogenering). I det første trinnet i proessen fjernes oksygenet ved hydrid-oksygenering. Deretter blir parafin-molekylene delt opp (cracking) og prosessert til *“riktig lengde på karbonkjedene” (isomerisert)*. Proessen er mye lik den som blir brukt for biodiesel (HVO, eller Hydrotreated Renewable Diesel), men med en økt prosessering av de lengre kjedede hydrokarbon-molekylene. Maksimalt blandingsforhold er 50%. ASTM-spesifikasjon: D7566 - Vedlegg 2

9.2.1 HEFA-SPK

Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene (HEFA-SPK) (Annex A2)			
Sertifisert	2011	Innblanding, maks:	50%
Råstoff	Enten fettsyrer og estere, eller mer generelt forskjellige lipider som kommer fra plante- og animalsk fett, oljer og smøreoljer (fats, oils, and greases - FOGs).		
Prosess Process/Product Description	Naturlige oljer omdannes fra lipider til hydrokarboner ved å behandle oljen med hydrogen for å fjerne oksygen og andre mindre ønskelige molekyler. Hydrokarboner deles opp og blir isomerisert, og en syntetisk blanding av flydrivstoff bestående av parafiner produseres.		

9.2.2 HHC-SPK or HC-HEFA-SPK

Alger: Hydroprocessed Hydrocarbons, Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene (HHC-SPK or HC-HEFA-SPK) (Annex 7) – Fast tracked, reason of 10% max blending			
Sertifisert	2020	Innblanding, maks:	10%
Råstoff	Biobaserte hydrokarboner, fettsyreestere og frie fettsyrer. Godkjente kilder til biobaserte hydrokarboner inkluderer for tiden bare tri-terpener produsert av Botryococcus braunii-arter av alger.		
Prosess Process/Product Description	Biobaserte hydrokarboner og lipider omdannes til hydrokarboner ved å behandle råstoffet med hydrogen for å fjerne oksygen og andre uønskede molekyler. Hydrokarboner brytes ned og settes sammen i riktige lengder (isomerisert), og en syntetisk blanding av flydrivstoff bestående av parafiner blir produsert.		

9.3 Fermentert sukker - Syntetiserte isoparafiner (SIP)

Syntetiserte isoparafiner SIP fra fermentert sukker er en biologisk prosess, der mikrober omdanner sukker med seks karbonatomer (C6) til farnesan, som etter behandling med hydrogen kan brukes som drivstoff. Maks blandingsforhold er 10%.

Hydroprocessed Fermented Sugars to Synthetic Isoparaffins (HFS-SIP) (D7566 Annex 3)			
Sertifisert	2014	Innblanding, maks:	10%
Råstoff	Sukker		
Prosess Process/Product Description	Prosessten bruker modifiserte gjær for å gjære sukker til i et hydrokarbonmolekyl. Dette produserer et C15-hydrokarbonmolekyl kalt farnesene, som etter hydroprosessering til farnesan kan brukes som en blanding i produksjon av flydrivstoff.		

9.4 Alkohol til jet (AtJ)

AtJ konverterer alkoholer til drivstoff ved å fjerne oksygen og knytte molekylerne sammen for å få ønsket karbonkjedelengde (dvs. oligomerisering). For øyeblikket er det to råstoff som er godkjent for bruk i AtJ-teknologien: etanol og isobutanol. Kilden til alkoholen er ikke spesifisert. Maks. Blandingsforhold er 50%.

Alcohol to Jet Synthetic Paraffinic Kerosene (ATJ-SPK) (D7566 Annex 5)			
Sertifisert	2016	Innblanding, maks:	50%
Råstoff	Dette vedlegget er ment å beskrive bruk av alkoholer med 2 til 5 karbonatomer, men for øyeblikket tillater det bare bruk av etanol og isobutanol. Alkoholene kan komme fra hvilken som helst kilde, men stammer vanligvis fra: - Gjæring av stivelse / sukker, som i seg selv kan komme fra planter som har en høy andel av stivelse / sukker (f.eks. mais, søt sorghum, sukkerrør, sukkerroer, rotknoller) eller avledet fra cellulose (f.eks. via hydrolyse fra lignocellulose i trevirke). - Biokjemisk prosesseringen av andre former for hydrogen og karbon (f.eks. via organismer som omdanner CO, H₂ og CO₂ til alkohol).		
Prosess Process/Product Description	Dehydrering av isobutanol eller etanol etterfulgt av oligomerisering, hydrogenering og fraksjonering for å produsere flydrivstoff.		

9.5 Hydro-termisk prosessering (Hydrothermolysis)

Hydrothermolysis, en type av hydro-termisk prosessering (hydrothermal liquefaction, HTL) innebærer at biomasse behandles med vann under høyt trykk og temperatur, typisk 200-600 °C, et trykk på 5-40 MPa, hvor væsken eller vann kan være i en superkritisk fase.

Hydrotermolyse-prosessen produserer også n- og iso-alkaner i tillegg til aromater og cyclo-alkaner. Det er annonsert planer for et første pilotanlegg.

Catalytic Hydrothermolysis Synthesized Kerosene (CH-SK, or CHJ) (Annex A6)			
Sertifisert	2020	Innblanding, maks:	50%
Råstoff	Enten fettsyrer og estere, eller mer generelt forskjellige lipider som kommer fra plante- og animalsk fett, oljer og smøreoljer (fats, oils, and greases - FOGs).		
Prosess Process/Product Description	Hydrobehandlet syntetisert parafin som inneholder normal- og isoparafiner, cyklo-parafiner og aromater produsert fra hydrotermisk omdannelse av fettsyreestere og frie fettsyrer sammen med en hvilken som helst kombinasjon av hydrogenbehandling, oppsplitting eller sammensetning vha. hydrogen (hydrocracking, eller hydroisomerization) og andre konvensjonelle raffineriprosesser, men inkludert fraksjonering (fractionation) prosess trinn.		

Hydrotermolyse-prosessen er dessuten egnet for å behandle våt biomasse fra avløpsvann og gjødsel. Shell/SBI, Aduro, and Forge utvikler prosesser som er termokatalytiske, katalytiske og termisk deoksygenering (PNNL & NREL, 2020).

9.6 Kvalifisering av nye drivstoff (D4054 Qualification Process)

Original equipment manufacturer (OEM)-led ASTM D4054 fit-for-purpose testing generally costs several million dollars and can require years to be approved (ASTM 2018). A fast-track approval process has been accepted for fuels in which the bærekraftig flydrivstoff blending component is limited to 10% and consists of the same types of molecules that are in petroleum-based jet fuel. A clearinghouse annex has also been proposed to reduce cost and time for approval. The Bioenergy Technologies Office (BETO), Federal Aviation Administration, and U.S. Department of Defense are investing in prescreening and testing protocols that need only small quantities (milliliters to liters) to provide feedback about a candidate fuel blend fit-for-purpose. (PNNL & NREL, 2020)

Testing ledet av utstysprodusenter via prosessen definert i standarden ASTM D4054 koster vanligvis flere millioner dollar og kan kreve år å bli godkjent (ASTM 2018). Det er godkjent en fast track, en rasker godkjenningssprosess, for drivstoff der innblandingen er begrenset til 10%. Det er også foreslått et eget vedlegg som beskriver fast track i detalj slik at aktørene kan redusere sine kostnader og tiden det tar for godkjenning. I USA vil Bioenergy Technologies Office (BETO), Federal Aviation Administration og US Department of Defense investerer i forhåndsscreening og testprotokoller som bare trenger små mengder (milliliter til liter) for å gi tilbakemelding til produsenter om drivstoffet de utvikler vil være egnet for innblanding.

Tabellen under viser hvilke verdikjeder og aktører som aktivt arbeider for å få godkjent nye verdikjeder og teknologier.

Tabell 7 – Verdikjeder og teknologier som utvikles for å bli godkjent

Trinn for kvalifisering	Verdikjede (Pathway)	Råstoff (Feedstock)	Aktør (Task Force Lead)
ASTM Balloting	ingen per mai 2021		
Phase 2 OEM Review	ingen per mai 2021		
Phase 2 Testing	Hydro-deoxygenation Synthetic Kerosene (HDO-SK)	Sugars and cellulotics	Virent (inactive)
	Hydro-deoxygenation Synthetic Aromatic Kerosene (HDO-SAK)	Sugars and cellulotics	Virent
Phase 1 OEM Review	High Freeze Point Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Kerosene (HFP HEFA-SK)	Renewable FOG	Boeing
	Integrated Hydropyrolysis and Hydroconversion (IH ²)	Lignocellulosics	Shell
Phase 1 Research Report	(ingen)		
Phase 1 Testing	Alcohol-to-Jet Synthetic Kerosene with Aromatics (ATJ-SKA)	Sugars and lignocellulosics	Swedish Biofuels, Byogy
	Alcohol-to-Jet (ATJ)	Sugars	Global Bioenergies

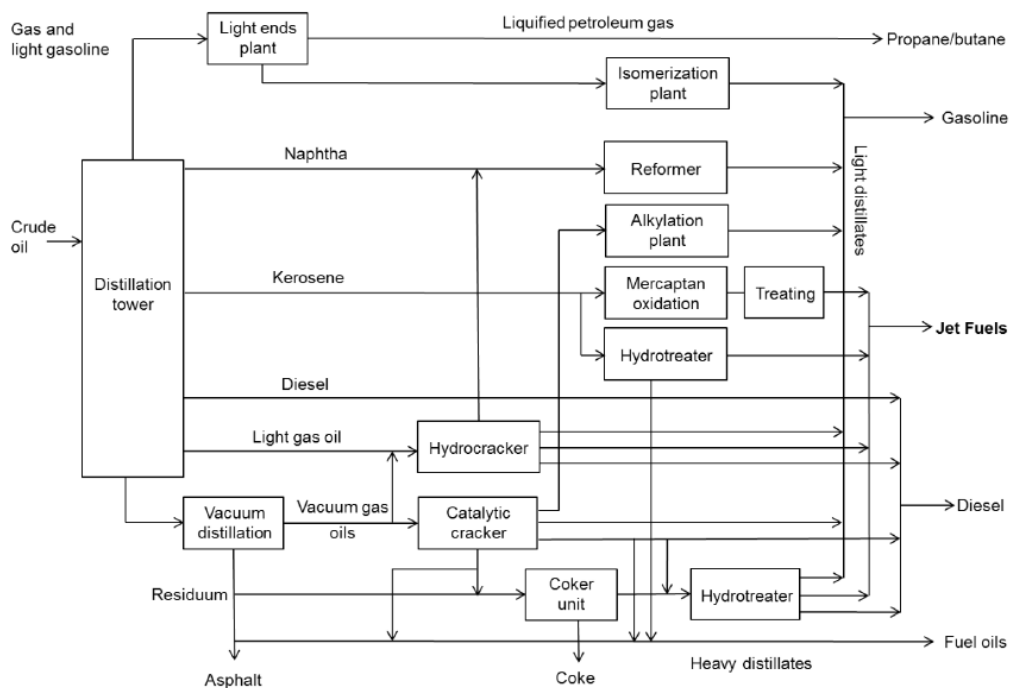
Prosess for pre-kvalifisering av biodrivstoff Det er et betydelig antall ytterligere potensielle verdikjeder og teknologier som for tiden undersøkes av flere aktører, men som ennå ikke er en del av ASTM-kvalifiseringsprosessen (CAAFI). Disse verdikjedene er basert på prosesser som er; biologiske (gjæring eller mikrobiell omdannelse) eller termokjemisk (pyrolyse, hydrotermisk flytendegjøring, katalytisk prosessering, etc.). Noen av disse initiativene kan bli en del av den formelle godkjenningsprosessen de neste årene, og muliggjøre flere anlegg og flere typer biomasse.

9.7 Produksjon av flydrivstoff i konvensjonelle raffinerier

Parafin er produsert fra destillasjon av råolje ved atmosfærisk trykk (straight-run) eller fra katalytisk, termisk eller dampreforming av tyngre petroleumstrømmer (dampreformert «cracked» parafin). Figur 55 viser et generelt flytskjema for et raffineri som kan produsere flydrivstoff sammen med andre lette, midtre og tunge destillater av råolje. Den nøyaktige sammensetningen av et bestemt parti flydrivstoff er avhengig av den råoljen den ble produsert fra, og av raffineriprosessene som ble brukt til produksjonen. Uavhengig av kilde og produksjonsprosess består parafiner og flydrivstoff primært av hydrokarboner med 9-16 karbonatomer, som koker i området 145–300°C. De dominerende komponentene i flydrivstoff er forgrenede og lineære parafiner og naftener (cykloalkaner) som vanligvis utgjør over 70 volum% av komponentene.

Det endelige produktet må oppfylle alle ytelses- og regulatoriske krav til det spesifikke drivstoffet. ASTM International (tidligere kjent som American Society for Testing and Materials) og Storbritannias forsvarsdepartement publiserer spesifikasjoner og testmetoder for kommersielt flydrivstoff, og mer informasjon om disse standardene kan fås fra disse organisasjonene.

Figur 55 – Generelt raffineri-konsept (ATSDR 2017)



Om DNV

Vi er et globalt selskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering med tilstedeværelse i over 100 land. Vårt formål er å sikre liv, verdier og miljøet. Med vår unike tekniske ekspertise og uavhengighet bistår vi våre kunder med å forbedre sikkerhet, effektivitet og bærekraft.

Enten vi godkjenner et nytt skipsdesign, optimerer energiproduksjonen fra en vindmøllepark, analyserer sensordata fra en gassrørledning eller sertifiserer verdikjeden til en matprodusent, hjelper vi våre kunder med å ta gode og riktige beslutninger og øke tilliten til virksomheten, produktene og tjenestene deres. Verden er i endring. Vi kan påvirke utviklingen. Sammen skal vi takle de globale utfordringene og omstillingene vi vil møte.